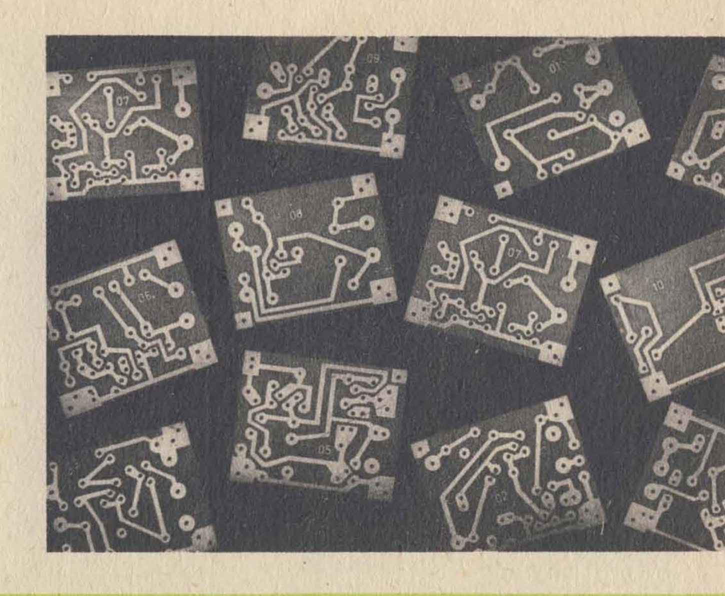
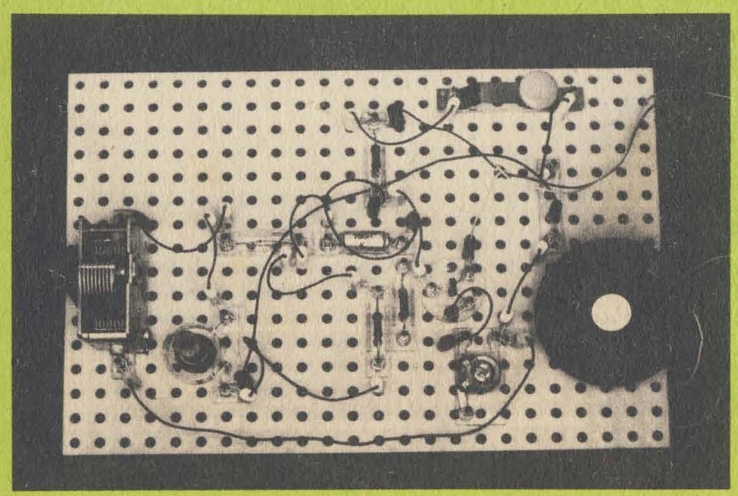




Bauplan Nr. 41
Preis 1,– Mark

Klaus Schlenzig

Elektronik-ABC mit Leiterplatten



Leiterplatten auf ätzfester »typofix-Folie« im Handel erhältlich

Originalbauplan Nr. 41

Inhalt

1. Einleitung

Dieser Bauplan wendet sich vordergründig an alle, die die ersten Schritte in der Elektronik tun. Er ist aber auch für jene bestimmt, die für ein kleines Problem schnell eine passende Lösung suchen. Für beide Gruppen sind die bis zur Leiterplatte gestalteten Schaltungseinheiten gedacht, deren Anfertigung durch die Kopplung mit entsprechenden »typofix-electronic-special«-Abreibebögen wiederum fast zum Spiel wird. Spielend in die Materie eindringen sollen auch die Teilnehmer in den zahlreichen Elektronik-Arbeitsgemeinschaften an unseren Schulen, die vielleicht schon mit dem Polytronic-ABC-Baukastensystem und seinen mehr als 70 Versuchen ihre ersten Kenntnisse gesammelt haben. Dieser Bauplan entstand in Anlehnung an das genannte System. Das sichert leichteres Verstehen, das Vorhandensein einer soliden Experimentierbasis und Unabhängigkeit von Leiterplattenproduzenten.
Der Sinn, eine erprobte Schaltung – im Baukasten notwendigerweise nur »flüchtig« existierend – auf einer Leiterplatte »einzufrieren«, hat zwei Aspekte: Zum einen steht die als zweckmäßig erkannte Grundschaltung ständig zur Verfügung, z. B. zur Verknüpfung mit weiteren Schaltungseinheiten oder in Baukastenversuchen komplexerer Art. Zum anderen lassen sich zahlreiche kleine Aufgaben in Schule und Patenbetrieb, aber auch zu Hause, mit solchen Bausteinen elegant lösen. Für beide Zwecke erschien es günstig, mit nicht zu kleinen Standardformaten zu arbeiten, um gerade dem Anfänger nicht durch unnötige Kompaktheit zusätzliche Einarbeitungsprobleme zu schaffen. Außerdem ist es dem (später) Fortgeschrittenen so leichter möglich, Änderungen (Bauelementewerte) oder Verbesserungen bzw. Erweiterungen anzubringen. So wurde z. B. auch nicht immer streng nach der Baukastenvorgabe dimensioniert. Man bedenke den begrenzten Bauelementevorrat eines Baukastens gegenüber der »optimierungsfreundlichen« Freizügigkeit beim Selbstbau! Die Formatgröße wurde auch auf die Maße der »typofix«-Folie abgestimmt, was wiederum zu deren optimaler Ausnutzung führt. Dieses neue Bausteinsystem soll auch als Ausweg aus dem lange Zeit eingesetzten System »Amateurelektronik« verstanden werden, dessen Leiterplattensortiment nicht weiterentwickelt werden konnte und darum auch nicht mehr produziert wird. »typofix« ist der nahezu ideale Ausweg aus dieser Situation: ein bei Bedarf jederzeit vorhandenes erneuerbares und erweiterungsfähiges Sortiment »auf Abruf« herstellbarer Leiterplatten, die somit auch volkswirtschaftlich äußerst rationell – verglichen mit dem vorher nötigen langen Weg bis zur Produktion und vor allem auch marktgerechten Lagerhaltung – erst dann entstehen, wenn sie der Nutzer tatsächlich benötigt. In Verbindung mit einfach zu handhabenden Ätzsätzen, die im Handel angeboten werden oder auch an den Schulen vorhanden sind, ergibt sich damit sowohl für jeden ständigen als auch für den »Gelegenheits«-Hobbyelektroniker die Möglichkeit, elektrische Problemstellungen sauber und zuverlässig zu lösen.
Über den Rahmen einer nach praktischen Gesichtspunkten ausgewählten Typensammlung von Grundschaltungen des Baukastens hinaus rundet dieser Bauplan das Sortiment um eine Baueinheit ab, mit der ökonomischer Dauerbetrieb von Schaltungen aus einem Klingeltransformator möglich ist.
Der praktische Einsatz der meisten Leiterplatten (wenn sie nicht ausschließlich im Experiment genutzt werden) hängt von einem zuverlässigen Schutz gegen äußere Einflüsse ab. Daher werden in diesem Bauplan Tips zur Gestaltung von Eigenbaugehäusen für die Bausteine gegeben, deren Material in vielen Heimwerkerläden billig erhältlich ist, optisch anspricht und sich gut verarbeiten läßt.

2. Kurzinformation zum Experimentier-Baukastensystem »Polytronic-ABC«

Dieses Baukastensystem besteht aus den Stufen A (Grundausstattung Elektrotechnik/Elektronik), B (Funktechnik) und C (Elektronik). Man kann auch alle drei Stufen in einem einzigen Baukasten erwerben und verfügt dann u. a. über 6 Fest- und 3 Stellwiderstände, 5 Kunststoff- und Elektrolytkondensatoren, 1 Drehkondensator, 3 Spulen, 1 Fotowiderstand, 1 Heißleiter, 2 Glühlampen, 2 Transistoren, 1 Diode, 1 Relais, 1 Motor, 1 Kopfhörerkapsel, 1 Taster, 1 Schalter sowie ein Sortiment von Kontaktklemmen. Die Bauelemente befinden sich einzeln auf steckbaren Trägern, die nach Bedarf beliebig auf eine Experimentierplatte gesteckt und mit den Verbindungskabeln zusammengeschaltet werden können. Die Kontaktklemmen greifen um lange Rohrniete, an denen sich jeweils mehrere Anschlüsse anbringen lassen. Diese Verbindungen sind einfach herzustellen und recht zuverlässig. Die Verdrahtung der im Anleitungsheft vorgegebenen Schaltungen (mehr als 70!) bleibt stets übersichtlich. Über eine Anschlußschiene ist es möglich, unübersichtliche Anschlußhäufungen, z. B. auf der Masseseite, aufzulösen. Sowohl die Herstellung dieser Kontaktbauelemente und der Aufbau der Batteriehalterung wie auch die Funktion aller elektrischen und elektronischen Bauelemente werden vor Beginn der Versuche erläutert. Die Versuche selbst gliedern sich in Aufbau, Durchführung, Ergebnis und Auswertung. So wird der Nutzer mit zahlreichen elektronischen Grundschaltungen und ihren Anwendungen vertraut gemacht.
Der vorliegende Bauplan knüpft an diese Schaltungen an. Für seine Nutzung ist jedoch der Baukasten nicht Voraussetzung. Damit können auch alle Bauplanleser, die keinen Zugang zum »Polytronic-ABC« haben, nach diesem Bauplan arbeiten. Gegenüber dem Baukasten sind an einigen Stellen günstigere Lösungen möglich, u. a. dort, wo die Baukasten-Transistortypen schon etwas überfordert sind, nämlich bei höheren Strömen. Für Arbeitsgemeinschaften folgt daraus umgekehrt, daß sie möglichst den einen der beiden Transistoren vorteilhaft durch einen SF 126 D oder E. o. ä. ersetzen können. Damit wird es bei einem großen Teil der Schaltungen auch möglich, mit einer Flachbatterie von 4,5 V oder sogar mit 2 × RZP 2 (also 4 V) auszukommen, da die Sättigungsspannung des SF 126 klein genug ist.

3. Technologisches

3.1. Bauelement »Leiterplatte«

Seit etwa 20 Jahren gehört die Technik der gedruckten Schaltungen mit ihren inzwischen weitverzweigten Technologien zu den für die rationelle Fertigung elektronischer Geräte wichtigsten Verfahren. Diese Technik in Form der Variante »fotomechanisches Verfahren« war letztlich sogar mitbestimmend für die Möglichkeit, integrierte Schaltkreise herzustellen.
Für die Bausteine bedient man sich der einfachsten aller Leiterplattentechniken (wenn man das Ritzen einmal ausklammert), nämlich dem direkten Aufbringen eines ätzfesten Leiterbildes auf die Kupferfolie des Halbzeugs. »typofix-electronic-special«-Folie, ein von Abreibebuchstaben und -zahlen her bekanntes Verfahren, sichert saubere, im Rahmen des Nötigen maßhaltige und »bohrfertige« Leiterbilder. Mit

einem weichen Bleistift (2B z. B.) werden die schwarzen Leiterbildstücken unter leichtem Druck auf das Kupfer des kupferkaschierten Hartpapiers aufgerieben. Vorher ist die Kupferfolie zu säubern, am besten durch ein kurzes Bad im Silberputzmittel »Blanka Blink« mit anschließender Wasserspülung. Stärker verunreinigtes Material ist mit einer Mischung von Netzmittel (Fit o. a.) und feinem Scheuersand zu säubern.
Die Halbzeugplatten können sofort in dem für diesen Bauplan gewählten Format ausgesägt werden; die Sägekanten sind mit der Feile zu glätten. Keinen hochstehenden Kupferrand übriglassen, er beschädigt das »typofix«-Blatt! Von diesem Blatt wird der benötigte Teil ausgeschnitten und an einer Kante mit umgeknicktem Klebeband auf der Halbzeugplatte befestigt. So kann das Blatt jederzeit zu Kontroll- oder Korrekturzwecken hochgeklappt und danach maßgenau wieder aufgelegt werden. Die Papierschutzschicht wird vorher von der Folie abgezogen (nur vom benutzten Stück) – das Restblatt ist wieder bei Zimmertemperatur und normaler Luftfeuchte (um 65 %) druckfrei zu lagern.
Das Übertragen der ätzfesten schwarzen Foliestücken auf die Kupferoberfläche muß man etwas üben, um ein Gefühl für den erforderlichen Druck zu bekommen. Ist er zu groß, wird die Trägerfolie ballig, und die Leiterzüge reißen durch teilweises Abheben und Verziehen des Trägers. Ist er zu klein, kann besonders an den Rändern leicht ein Teil auf der Trägerfolie bleiben. All das erkennt man jedoch relativ leicht und vermag es zu korrigieren – durch nochmaliges Aufreiben, durch Korrekturstückchen (z. B. von einem »typofix-electronic-universal«-Blatt) oder auch mit etwas ätzfestem Zeichenlack aus dem EPW-Ätzsatz. Graufärben der abgeriebenen Partien zeigt an, daß die Folie übertragen wurde. Leider reibt besonders der Anfänger rings um die Leiterzüge noch einen Wachsrand mit auf, der den Ätzvorgang unnötig verlängert. Etwas Wasch- oder Feuerzeugbenzin in einem lockeren Wattebausch, vorsichtig mehrmals leicht über die Kupferfolie auf der Halbzeugplatte gestrichen, beseitigt diese Schicht soweit, daß sie kaum noch stört. Damit solche Prozeduren und überhaupt der Ätzvorgang nicht zu unsauberen Rändern führen, drückt man jeden Leiterzug nach dem Abreiben konsequent mit dem Finger auf die Kupferfolie.
Werden nun – mit der nötigen Vorsicht – an den Plattenecken zwei Löcher gebohrt (Durchmesser am besten 1 mm), so können jeweils zwei Platten »Rücken an Rücken« mit 0,8-mm-Kupferdraht aneinander befestigt werden. Der länger gehaltene Draht ist gleichzeitig Griff und Haken für das Ätzen. Er widersteht dem Ätzbad mit Sicherheit längere Zeit als die Kupferfolie. In einem nichtmetallischen Gefäß, das wenigstens 60 mm hoch sein sollte, werden die Platten nun zum Ätzen hochkant untergebracht, möglichst ohne Bodenberührung. Das Ätzmittel (je nach Lieferung das mit großer Vorsicht wegen seiner Aggressivität und besonders seiner Färbewirkung zu behandelnde Eisen(III)chlorid oder das sauberere Ammonium-Persulfat) wird nach der dem handelsüblichen Ätzsatz beiliegenden Gebrauchsanweisung in Wasser aufgelöst (ebenfalls in einem nichtmetallischen Gefäß, bei Eisen(III)chlorid starke Wärmeentwicklung!) und nach Entfernen der Schlackeschicht (bei Eisen(III)chlorid) in das Ätzgefäß gefüllt. Alle diese Arbeiten werden mit entsprechender Kleidung und an einem passenden Ort (Chemieraum, Keller oder im Freien) durchgeführt.
Es kann nicht schaden, die Platten zwischendurch mehrmals abzuspülen und zu kontrollieren. Nach beendetem Ätzprozeß, wenn alles Kupfer außerhalb der Abdeckungen in Lösung gegangen ist, Platte spülen und säubern – z. B. wieder mit Waschbenzin oder Scheuermittel. Nach dem Spülen und Trocknen wird dünn Schutzlack aus dem Ätzsatz aufgetragen, der schnell trocknet. Nun können zunächst mit einem 1-mm-Bohrer alle Löcher gebohrt werden. Dazu ist eine Hobby-SM-Maschine von PIKO gut geeignet. Später bohrt man die größeren Löcher auf, z. B. für das Anbringen der speziellen Polytronik-Anschlußröhrchen (anderenfalls werden handelsübliche 1-mm-Steckerlötösen benutzt). Für Potentiometer sind 1,3-mm-Löcher notwendig.

3.2 Bestücken und Löten

Zu diesen Arbeitsgängen findet der Leser ausführliche Beschreibungen in den Büchern »Amateurtechnologie« und »Bauplan-Bastel-Buch«. Da nicht vorausgesetzt werden kann, daß diese Bücher allen Neulingen zur Verfügung stehen, sei aus letztgenanntem Buch – mit entsprechenden Änderungen – der betreffende Abschnitt wiedergegeben, denn er enthält alle wichtigen Informationen. Es empfiehlt sich diese Reihenfolge:
– Einsetzen aller Bauelemente, die einen bestimmten mechanischen Aufwand erfordern wie das Einpressen von Lötösen mit einer stabilen Zange bei bruchsicherem Auflegen der Leiterplatte rings um das betreffende Loch (z. B. auf dem zu einem Spalt geöffneten Schraubstock);
– Einsetzen der Bauelemente, deren Lage durch starre oder halbstarre Anschlüsse zwangsläufig vorgegeben ist. Als starr rechnen z. B. Trimmpotentiometer, Relais u. ä. Halbstarr sind Elektrolytkondensatoren nach TGL 200-8308, da man sie notfalls auch einmal etwas schief einbauen kann;
– Einsetzen der Bauelemente, deren Lage infolge ihrer biegsamen Anschlüsse den restlichen freien Flächen angepaßt werden kann. Das trifft vor allem auf Widerstände und (begrenzt) auf Kondensatoren mit Drahtanschluß zu. Jedes Bauelement wird sofort eingelötet. Im allgemeinen sind Bauelementeanschlüsse einwandfrei verzinnt und damit bei sachgemäßer Lagerung (am besten in geschlossenen Behältern) auch leicht zu löten. Dennoch ist jeder Anschluß vor dem Einsetzen des Bauelements zu überprüfen, und zwar an der Stelle, die später zur Lötstelle gehört. Bei den älteren Ausführungen von 1/10- und 1/20-W-Widerständen, deren Fahnenanschlüsse man oft beim Einführen in die Löcher der Leiterplatte nicht abbiegt, wird meist die Schutzlackschicht auch auf den ersten Millimetern der Anschlüsse vorhanden sein. Vorher vom Lack befreien und die Anschlüsse verzinnen! Allerdings ist bei kurzen Anschlußenden im allgemeinen große Vorsicht gegenüber zu langer Lötzeit und zu hoher Löttemperatur geboten. Das trifft auch für Elektrolytkondensatoren zu, in besonderem Maße aber für Halbleiterbauelemente. Ihre Anschlüsse sollte der Anfänger nicht kürzen, sondern sie mit Isolierschlauch schützen und die Bauelemente so anordnen, daß sie mit ihren Kappen keine anderen Bauelemente kurzschließen können.
Die Lötzeit ist um so kürzer, je besser der Anschluß vorbereitet worden ist. Für den Amateur bedeutet das, am besten alle Bauelementeanschlüsse, auch dann, wenn sie schon verzinnt worden sind, kurz vor dem Einbau nochmals neu zu verzinnen. Oxid- oder Lackreste werden vorher mit Schmirgelleinen, einem Glasfaserpinsel oder mit dem Taschenmesser entfernt. Dann den Anschluß mit einem Tropfen säurefreier Löttinktur benetzen, wie sie z. B. als »Löttinktur Nr. 23« in kleinen Flaschen im Amateurbedarfshandel angeboten wird. Diese Stelle verzinnt man dann schnell und sauber mit dem Lötkolben, dessen Spitze nach dem Eintauchen in Flußmittel etwas frisches Zinn aufgenommen hat. Für sauberes Löten sind folgende Bedingungen zu erfüllen: zunderfreie, ausreichend, aber nicht tropfend verzinnte Lötkolbenspitze, deren Zinn von Flußmitteloxidhaut frei gehalten wird; Flußmittel auch auf dem zu verzinnenden Anschluß aufbringen. Die Lötkolbenspitze, sooft das nötig ist, säubern, z. B. durch Abstreifen der verbrannten Flußmittelrückstände an einem Leinenlappen! Zunder beseitigt man im kalten Zustand mit Drahtbürste oder Feile, falls es sich nicht um eine vergütete, zundersichere Spitze handelt. Einige Worte zum Lötkolben selbst: Geeignet sind für Leiterplatten Lötkolben zwischen etwa 20 W und 40 W. Als Beispiel zeigt Bild 1 das vom VEB Elektromechanische Werkstätten Woltersdorf zusammengestellte Lötbesteck »Delta-Quick-Junior«, das für 19,20 M erhältlich ist.
Der Lötkolben muß folgende Bedingungen erfüllen: Der bereits sauber verzinnte Draht (0,6 bis 0,8 mm Durchmesser) muß sich mit dem Lötauge (etwa 2,5 bis 3,5 mm Durchmesser) innerhalb einer Sekunde zu einer einwandfreien Lötstelle vereinigen lassen, bei der während des Lötvorgangs das Zinn eindeutig den Draht umfließt. Teigige Konsistenz bedeutet zu schwachen Lötkolben, zu weit herausgezogene Spitze oder zu niedrige Betriebsspannung. Eine zu hohe Temperatur zeigt sich bereits am Lötkolben dadurch, daß sich das Zinn auf seiner Spitze in kürzester Zeit (in einigen Sekunden) mit einer grauen Haut überzieht bzw. daß beim Löten das Flußmittel verbrennt, statt die Oberflächenspannung des Zinns zu verringern und Oxidhäute zu beseitigen. Die meist schraubendreherähnliche Lötkolbenspitze ist für einen Mehrzweckkolben gut geeignet. Mit ihr lötet man entweder kurz hintereinander von 2 Seiten am aus dem Lötauge herausragenden Bauelementedraht oder benutzt die Fläche in folgender Weise: Zunächst erhält die künftige Lötstelle samt Bauelementeanschluß wieder einen Tropfen Flußmittel. Danach ist der Anschluß unter die Folie ins Loch zurückzuziehen, denn nur so kann die Lötkolbenspitze das gesamte Lötauge zunächst flächenhaft verzinnen. Wenig später wird der Anschluß wieder durch das Loch geschoben und dadurch ebenfalls vom noch flüssigen Zinn erfaßt. In dem Maße, wie der Bauelementeanschluß wieder auftaucht, hebt man den Lötkolben ab. Wie lang soll das durch die Platte hindurchragende Ende des Anschlusses sein? Für den Amateur empfiehlt es sich nicht, Anschlüsse des besseren Haltes wegen auf der Leiterplatte umzubiegen. Er hat dann beim evtl. nötigen Auswechseln große Schwierigkeiten. Besser ist es, das Bauelement in seine stabile Lage auf der Platte zu drücken, so daß es später die Folie der Lötstelle nicht von der Plattenoberfläche weg mechanisch belasten kann, denn dadurch reißt sie vielleicht ab. Das gilt besonders für schwere oder durch Bedienvorgänge mechanisch belastete Bauelemente. Jetzt

ist der Anschluß etwa 1 mm über der Folieseite abzuschneiden. Anschließend wird in der bereits beschriebenen Weise unter Zugabe eines Tropfens Flußmittel und mit gerade ausreichend frisch verzinntem Lötkolben gelötet.

3.3. Schützen und Prüfen

Damit die fertige Schaltung sauber wirkt, kann sie leiterseitig mit Spiritus abgewaschen werden. Dabei soll möglichst keine Lösung auf die Bauelementeseite gelangen, denn die dadurch entstehenden Flecken stören den Gesamteindruck. Anschließend wird die Leiterseite mit frischem Schutzlack, einer Kolophonium-Spiritus-Lösung oder auch Haarlackspray überzogen. Falls man sich der Mühe unterzogen hat, alle Leiterbahnen zu verzinnen, ist ein solcher Lackschutz nicht unbedingt nötig. Durch Vollverzinnung vor dem Bestücken läßt sich übrigens schnell eine saubere Lötstelle herstellen.
Die fertige Einheit muß nun noch einigen Tests unterzogen werden, bevor sie mit der vollen Betriebsspannung belastet wird. An dieser Stelle sei noch die Empfehlung nachgetragen, schon die Leiterplatte mit einer Lampe zu durchleuchten, so daß sich bereits vor dem Bestücken Brücken oder Unterbrechungen erkennen lassen. Mit Schadstellen muß beim Ätzprozeß infolge fehlerhafter Deckschicht immer gerechnet werden! Es ist nicht möglich, für den Funktionstest einer gedruckten Schaltung sehr spezielle Hinweise zu geben, denn das hängt stark von der Art der Schaltung ab. Auf jeden Fall ist so vorzugehen, daß der Test zeigt, ob Gefahrenstellen durch falsch eingebaute Bauelemente oder durch Zinnbrücken bestehen. Zinnbrücken erkennt man bei sorgfältiger Betrachtung der Leitungsseite (ggf. wieder durchleuchten) im Vergleich mit dem Leitungsmusterentwurf. Die richtige Lage aller Bauelemente und ihre Werte werden an Hand des Bestückungsplans kontrolliert. Anschließend ist es möglich, mit einem Begrenzungswiderstand und einem Amperemeter sowie mit einer (richtig gepolten!) Stromquelle von höchstens Nennspannung der Schaltung festzustellen, ob die Schaltung evtl. zu hohen Strom aufnimmt. Erst dann, wenn die Schaltung auf solche Tests »normal« reagiert, sollte man sie den vorgesehenen Betriebsbedingungen aussetzen. Das spart Bauelemente und Zeit. Es wird empfohlen, bei umfangreichen Schaltungen die Transistoren zunächst noch nicht mit einzulöten, sondern vorher an ihren Anschlußpunkten bei an der Schaltung angelegter Betriebsspannung Kontrollmessungen vorzunehmen, aus denen z. B. unzulässige Spannungen an den Basisanschlüssen zu erkennen sind.

3.4. Spezielle Hinweise

Die Leiterplatten dieses Bauplans – alle im Format 40 mm × 50 mm – können, wie schon angedeutet, auf zweierlei Art kontaktiert werden: durch handelsübliche 1-mm-Stecklötösen oder über die Anschluß-»Röhrchen« des Polytronic-Systems; das sind längere Rohrniete mit Gewinde für M3-Senkschrauben. An sie passen die Klemmverbindungen der Baukästen. Man entscheidet nach Haupteinsatzzweck; der an fertigen Geräten interessierte Amateur wird Stecklötösen bevorzugen, Arbeitsgemeinschaften dagegen erwerben Beutel mit diesen Rohrnieten, die (voraussichtlich!) bis zum Erscheinen dieses Bauplans im Handel erhältlich sein sollen (Bild 2). Ein weiteres spezielles Bauelement für viele Leiterplatten ist die Kleinglühlampe. Für sie wurden stets drei Lötpunkte vorgesehen, die auf drei Arten benutzt werden können (Bild 3): Einlöten einer geeigneten Fassung, die als unteren Anschluß nur eine kleine Lötöse oder sogar nur eine lötbare, gelochte Blechscheibe enthält, Einlöten der Lampe selbst (was Erfahrung voraussetzt wegen des unteren Lampenanschlusses) oder Selbstbau einer Lampenfassung aus einer Drahtwendel; Gegenkontakt ist dann ein abgewinkeltes Drahtstückchen. Außerdem kann – was für viele Zwecke von Vorteil ist – die Lampe auch außerhalb des Bausteins montiert werden. In diesem Fall wird wieder über Stecklötösen kontaktiert. Schließlich gestatten viele der Schaltungen auch den Anschluß anderer »Verbraucher«, etwa von Relais für größere Ströme, die dann auch an anderer Stelle eines kleinen Geräts mit dem betreffenden Baustein montiert werden können. Manche der ohne Eingangssteuerung arbeitenden Einheiten tragen dennoch Eingangsanschlüsse. Sie stellen für den Fortgeschrittenen zusätzliche Steuermöglichkeiten dar. Alle Leiterplatten haben in den Ecken Lötaugen. Dort können 1-mm-Löcher für Drähte angebracht werden, mit denen die Platte in einem Gehäuse montiert wird (z. B. thermisch in Polystyrol eingedrückt); oder man bringt 2-mm-Durchgangslöcher oder Gewinde für M2-Schrauben an. Oft genügen zwei der vier Befestigungspunkte. Näheres dazu siehe Abschnitt 7.

4. Ausgewählte Schaltungsbeispiele auf Leiterplatten

Im folgenden werden mit Stromlaufplan, kurzer Funktionserläuterung, Leiterbild und Bestückungsplan ausgewählte Baukastenschaltungen – ggf. zweckentsprechend variiert – zum Nachbau mit Hilfe von »typofix-electronic-special«-Folie (oder auch mit Decklack gezeichnet) vorgestellt. Sie können zunächst (baukastenüblich) aus Batterien betrieben werden. Abschnitt 5. behandelt eine transformatorgespeiste Stromversorgungseinheit. Zur Erhöhung der Freizügigkeit beim Nachbau sind viele der Leiterbilder für mehrere Schaltungen geeignet. Man kann also nach Notwendigkeit über ihre Bestückung entscheiden; gebohrt werden dann immer nur die lt. Bestückungsplan nötigen Löcher. Beim Entwurf wurde versucht, mit möglichst wenig »Blindelementen« (also Drahtbrücken und frei bleibende Lötaugen) auszukommen, denn das verwirrt sicherlich besonders den Anfänger. Eindeutige Auskunft über die Belegung zum jeweils benutzten Beispiel gibt stets der Bestückungsplan.
Das Anleitungsheft zum Baukasten enthält zunächst eine Reihe von Grundversuchen zum einfachen und zum verzweigten Stromkreis und zur Funktion der benutzten Bauelemente. Danach beginnen die Experimente, für die Umsetzen auf Leiterplatten im eingangs diskutierten Sinne als zweckmäßig erscheint.

4.1. Verzögerungsschalter

Wenn im Theater das Licht langsam dunkler wird oder wenn die Modellbahn vor einem Haltesignal langsam zum Stehen kommt, dann sind heute meist automatische Verzögerungsschalter im Spiel. Zu den Grundkenntnissen der Transistortechnik gehört das Wissen um den Begriff »Stromverstärkung«. Für den Anfang reicht dies: Die Kollektor-Emitter-Strecke eines Transistors läßt (fast) keinen Strom fließen, solange die Basis-Emitter-Strecke keinen Strom erhält. Ist das der Fall, so hat der Strom I_{CE} einen um den Faktor B höheren Wert als der Strom I_{BE}. Die Basis-Emitter-Strecke hat den Charakter einer Diode. Sie braucht eine Mindestdurchlaßspannung, bevor sie leitet. Für Siliziumtransistoren sind das 0,6 bis 0,7 V, Germaniumtransistoren leiten schon ab etwa 0,2 V. Das Ohmsche Gesetz, auf die Berechnung von I_{BE} angewendet, stimmt also nur, wenn man diese Spannung von der Batteriespannung abzieht.

So fließt von der Stromquelle mit der Spannung U_B nur der Strom $\frac{U_B - U_{BE}}{R_V}$ in die Basis-Emitter-Strecke,

wenn R_V der Widerstand zwischen U_B und der Basis ist. Im vorliegenden Fall (Bild 4) ist der Transistor ein nach seiner Leitfähigkeitszonenfolge so genannter npn-Typ. Er braucht an Basis und Kollektor positive Betriebsspannungen, bezogen auf den Emitter als gemeinsame Elektrode. Fließt Kollektorstrom, so bleibt am Transistor eine Restspannung, auch bei noch so hohem Basisstrom. In diesem Bereich ist der Transistor »gesättigt«. Über einem Widerstand zwischen U_B und Kollektor wird also stets weniger als U_B zu messen sein. Dieser Widerstand ist in Bild 4 eine Kleinglühlampe. Ihren Kaltstromstoß (6- bis 8facher Nennstrom für kurze Zeit beim Einschalten) muß der Transistor aushalten. Für eine 4-V-Lampe mit 50 mA oder für eine 3,8 V/0,07 A-Lampe reicht ein SF-Typ mit 500 mA Kollektorstrom mit Sicherheit aus. Wird durch entsprechend begrenzten Basisstrom verhindert, daß der Transistor mehr als seinen zulässigen Kollektor-Höchststrom durchläßt, so besteht eine zusätzliche Sicherheit. Allerdings ist zu bedenken, daß U_{BE} mit wachsender Temperatur um etwa 2 mV/K kleiner wird, so daß $U_B - U_{BE}$ und damit I_B wächst, während gleichzeitig auch B sowohl mit der Temperatur als auch (in einem gewissen Bereich von I_C) mit dem Kollektorstrom I_C wächst. Der Nenn-Basisstrom in der vorgestellten Schaltung beträgt etwa 0,4 mA, wenn $R_V \approx 10\,k\Omega$ und $U_B = 4{,}5$ V. »Etwa« bedeutet, daß die Widerstände zulässige Toleranzen (10 oder 20 % des Nennwerts) haben und daß die wirkliche Klemmenspannung z. B. einer Flachbatterie bei Belastung und abhängig von Alter und Entladezustand unter 4,5 V liegt. Will man sie

z. B. bis 3 V ausnutzen, so muß für 70 mA Kollektorstrom wegen $I_B\,min = \frac{(3-0{,}6)\,V}{10\,k\Omega}$ mA die Stromver-

stärkung des Transistors für 70 mA wenigstens $\frac{70\,mA}{I_{Bmin}}$ betragen, also etwa 290. Dazu benötigt man z. B.

einen SF 126 E, denn Gruppe E heißt Stromverstärkung 224 bis 560 (Wert bezieht sich allerdings

exakt auf eine Kollektorspannung von 2 V bei 50 mA Kollektorstrom). Da Gruppe D – überlappend – bis 280 reicht, tut es notfalls auch ein gutes D-Exemplar. Real fließen bei 3 V (minus einige hundert Millivolt Kollektor-Restspannung) aber weniger als 70 mA durch die Lampe. Sie glimmt noch bei etwa 30 mA, der Typ 4 V/0,05 A aus dem Baukasten sogar bis 20 mA herab. In diesem Bereich wirkt sich also ein entsprechender Basisstrom noch sichtbar aus.
Der Verzögerungsbaustein reagiert beim Einschalten des Basiskreises nur unmerklich »verzögert«. Die Lampe leuchtet nahezu sofort auf. Öffnet man diesen Stromkreis jedoch, so durchläuft sie deutlich erkennbar einen Bereich immer kleiner werdender Helligkeit bis zum Verlöschen. Warum?
Daß ein Kondensator elektrische Ladungen speichern kann, ist aus den Baukasteninformationen oder aus dem Unterricht bekannt. Beim Einschalten fließt daher zunächst ein kurzer Ladestromstoß, der nur durch den 100-Ω-Widerstand begrenzt wird und damit eine Anfangsspitze von $\frac{U_B}{100\,\Omega}$ hat. Nach etwa 3 RC ist er nahezu abgeklungen; dann fließt nur noch der Basisstrom des Transistors. Da ein Elektrolytkondensator meist eine wesentlich über dem Nennwert liegende Kapazität hat (z. B. bis 50 %), ist die Zeitspanne erheblich größer als errechnet. Das gilt auch für die Entladung. Die Toleranzen der Widerstände dagegen sind kleiner; am häufigsten werden solche mit ± 10 % Abweichung benutzt. Die errechnete Zeit von $3 \cdot 100 \cdot 470 \cdot 10^{-6}$, etwa 0,14 s, macht sich auch darum kaum bemerkbar, weil bereits von einer Kondensatorspannung von etwa 1,8 V an ein genügend hoher Basisstrom erreicht ist, so daß die Lampe gut erkennbar zu leuchten beginnt. Gegenüber dem Baukastenversuch sind die Ergebnisse auf der vorliegenden Leiterplatte eindrucksvoller, denn erstens kann man, da beliebig wählbar, den oberen Grenzwert des Basiswiderstands einsetzen, bei dem der Transistor noch genügend geöffnet wird, und zweitens ist der im Baukasten enthaltene Transistortyp (z. B. SC 206) für Lampenansteuerung auch etwas überfordert. Er hat nämlich bei diesen Strömen bereits eine recht hohe Sättigungsspannung (u. U. mehr als 2 V, der verwendete Typ dagegen zeigt bei 50 mA weniger als 100 mV!), und seine Stromverstärkung liegt bei 50 mA schon erheblich unter dem Nennwert (bei diesem Typ bei nur 2 mA festgelegt). Schließlich kann die Leiterplatte sogar noch einen 1000-μF-Kondensator fassen. All das führt dazu, daß beim Auftrennen des Basiskreises die Lampe noch wenigstens etwa 8 s lang zunächst hell, dann schnell dunkler werdend leuchtet. Denkt man sich statt der Lampe z. B. ein Relais ähnlichen Widerstandswerts und mit einem Abfallstrom von z. B. 10 mA, so können mit diesem noch wesentlich größere Zeiten erreicht werden.
Die Leiterplatte für diesen Verzögerungsschalter hat ein Leiterbild gemäß Bild 5 und wird nach Bild 6 bestückt. Die beiden Eingangsanschlüsse können direkt von einem Schalter, aber auch indirekt von einer anderen Schaltung aus angesteuert werden (z. B. von einem Relais, einer Transistorstrecke aus einer getrennt versorgten Baugruppe, ja sogar von einem im Hellen sehr niederohmigen Fotowiderstand). Als weiteren Einsatzfall kann man sich die verzögerte Alarmgabe beim Öffnen einer Tür o. ä. denken: Ein aus einem anderen Versuch stammender Tongenerator, dessen Stromversorgungsanschlüsse zwischen Kollektor und Emitter unserer Baugruppe liegen, erhält erst Strom, wenn der Transistor sperrt. Wer den Mechanismus kennt, schließt die Tür nach dem Öffnen noch während der Verzögerungszeit wieder oder betätigt einen versteckt angebrachten (nichtrastenden) Unterbrecherschalter, der aber auch als Taste parallel zu C angeschlossen sein kann. Das verzögerte Signal (nach dem Abschalten des Basiskreises steigt die Kollektorspannung nach der Verzögerungszeit von weniger als 0,5 V auf die volle Batteriespannung) steht am Ausgang zur Verfügung, auch wenn statt der Glühlampe ein Widerstand eingesetzt wird, für den ebenfalls Lötaugen vorgesehen wurden. Sein Wert kann höher als der Lampenwiderstand liegen. Mit z. B. 330 Ω ergibt sich ein für die Ansteuerung von Digitalschaltungen (TTL-Technik) geeigneter Zeitschalter, dessen Zustände L und H über einen Trigger den Schaltbedingungen von Logikschaltungen (kurze Öffnungszeiten) angepaßt werden können.

4.2. Kurzzeitschalter

Wenn nach Schließen eines Schalters eine Lampe zunächst aufleuchtet, kurze Zeit später aber schon wieder verlischt, muß es sich nicht um einen »Wackelkontakt« handeln! Ein in den Basisstromkreis geschalteter Kondensator und einige Widerstände sorgen dafür, daß für beliebige Zwecke eine vom Menschen unabhängige Zeit lang ein Strom im Kollektorzweig fließt, gleichgültig, wie lange man die »Steuertaste« noch drückt. Ein kurzer Knopfdruck, und schon arbeitet die Schaltung selbsttätig. Solche Effekte nutzt man u. a. sowohl beim Treppenhaus-Minutenlicht wie bei der elektronischen Kameraauslösung. Wird auch hier die Lampe durch ein Relais ersetzt, so kann das z. B. jeden ungeduldig Einlaß Begehrenden »beruhigen«, denn so lange er auch den Klingelknopf drückt – es kommt nur ein kurzes Signal zustande (Bild 7). Um neu zu starten, muß man schon einmal den Finger vom Klingelknopf nehmen, so lange, bis sich der Kondensator über die beiden Widerstände genügend weit entladen hat. Es läuft nämlich dies ab: Knopf drücken – der durch den oberen 1,8-kΩ-Widerstand bestimmte Gesamtstrom wird um so stärker auf den 5,1-kΩ-Widerstand verzweigt, je höher der Kondensator aufgeladen ist.

Am Verbindungspunkt kann maximal die Spannung $U_E = U_B \cdot \frac{5{,}1\,\text{k}\Omega}{(1{,}8 + 5{,}1)\,\text{k}\Omega}$ entstehen. Ist sie erreicht, fließt durch den Kondensator kein Strom mehr. Ohne den oberen Widerstand würde die Spannung zwar bis U_B ansteigen, aber sehr viel schneller, denn dieser Widerstand bestimmt zusammen mit dem Kondensator dessen Aufladezeit. Der untere Widerstand wiederum ist für das »Erholen« der Schaltung nach Loslassen der Taste zuständig. $\tau = 470 \cdot 10^{-6} \cdot (5{,}1 + 1{,}8) \cdot 10^3\,\text{s}$ lautet nämlich die Zeitkonstante der Kondensatorentladung. Achtung! Dieser Strom fließt in umgekehrter Richtung, so daß über der Basis-Emitter-Strecke anfangs die Spannung $U_E \frac{1{,}8\,\text{k}\Omega}{(1{,}8 + 5{,}1)\,\text{k}\Omega}$ steht. Daher darf die Schaltung – abgesehen von der durch die Lampe gegebenen Grenze – mit keiner so hohen Spannung betrieben werden, daß sich an der Basis mehr als (typenabhängig) 5 bis 7 V Sperrspannung ergeben, sonst bricht sie durch. Eine mit dem »Pfeil« nach oben parallel zur Basis-Emitter-Strecke gelegte Diode wirkt hier Wunder. Mit ihr statt des unteren 1,8-kΩ-Widerstands begrenzt man nicht nur die Sperrspannung auf etwa 0,6 V, sondern verkürzt sogar noch die Erholzeit der Schaltung (Bild 8).
Diese interessante Schaltung läßt sich auf der gleichen Leiterplatte wie für Abschnitt 4.1. (Bild 5) aufbauen, nur bestückt man sie nach Bild 9. Aus den Erläuterungen und aus einem Vergleich mit Abschnitt 4.1. wird deutlich, daß der Wertespielraum der eingesetzten Widerstände relativ klein ist, sonst ergibt sich entweder eine zu kurze Leuchtzeit oder eine zu lange Erholzeit, oder die Lampe leuchtet nur schwach. Wer weiterdenkt, kann jedoch sinngemäß mit dem im nächsten Abschnitt gewählten Prinzip auch diese Schaltung weiterentwickeln!

4.3. Langzeitschalter

Die mit der Schaltung nach Abschnitt 4.1. erreichbaren Zeiten für das verzögerte Abschalten der Lampe (oder – allgemeiner – der »Last«) waren noch recht bescheiden. Das lag, wenn man für den Kondensatorwert vor allem aus Volumengründen einen vernünftigen oberen Grenzwert wählte, vor allem an der Stromverstärkung des Transistors. Der Widerstand zwischen Kondensator und Basis durfte also nicht zu groß werden, sonst blieb die Lampe dunkel. Die Schaltung nach Bild 10 enthält zwei Transistoren. Der (verstärkte) Strom des ersten ist der Basisstrom für den zweiten. Damit gilt für die gesamte Stromverstärkung $B = B_1 \cdot B_2$. Bei z. B. je 200 ergibt sich theoretisch 40 000! Also könnte der Widerstand bei (vereinfacht) gleichen B-Werten B-mal so groß sein wie bei Abschnitt 4.1., und entsprechend diesem Faktor wäre die Leuchtzeit länger. Daß diese Betrachtung nicht ganz zutrifft, hat mehrere Gründe, zunächst diesen: Die Serienschaltung zweier Basis-Emitter-Strecken verringert die verfügbare Spannung U_R für $I_B = U_R/R_V$ auf $U_B - 2\,U_{BE}$. Außerdem liegt aber noch die Lampe im zweiten Emitterkreis und nicht wie in Abschnitt 4.1. im Kollektorkreis. Die Spannung über ihr ist ebenfalls von U_B abzuziehen. Allerdings stellt sich ein gewisses Gleichgewicht ein: Hoher Basisstrom bedeutet hohen Lampenstrom und damit höhere Spannung an der Lampe; also weniger Spannungsdifferenz über dem Vorwiderstand und damit eine Begrenzung des Basisstroms. In diesem Rahmen sei auf weitergehende mathematische Ableitungen verzichtet – sie werden infolge der Abhängigkeit des Lampenwiderstands vom Lampenstrom etwas unübersichtlich.
Übersichtlichere Verhältnisse ergeben sich bei Einfügen der Lampe wie nach Abschnitt 4.1. Jetzt ist tatsächlich nur die Spannung der beiden Basis-Emitter-Strecken von U_C abzuziehen, wenn man die über dem Vorwiderstand verfügbare Spannung errechnen will. Dieser Widerstand erhält – da die Wirkung des

Lampenwiderstands im Basiskreis jetzt wieder entfällt – seine alte Bedeutung nach Abschnitt 4.1. als einziger strombegrenzender Widerstand im Basiskreis. Da sich die Stromverstärkungswerte beider Transistoren in dieser Schaltungsart wieder multiplizieren ($B_{ges} = B_1 \cdot B_2$), wird nur noch ein um B des vorgeschalteten Transistors geringerer Basisstrom (I_B/B_1) gebraucht, um I_{La} fließen zu lassen. Damit darf R fast um den Faktor B_1 größer sein als in Abschnitt 4.1. (»fast«, weil $U_C - 2\,U_{BE}$ statt $-1\,U_{BE}$ gilt!). Diese zweite Variante des Langzeitschalters wurde in Bild 11 dargestellt. Für beide gilt das kombinierte Leiterbild nach Bild 12. Es wird durch entsprechend unterschiedlich eingesetzte Drahtbrücken für beide Varianten »aufbereitet« (Bild 13 und Bild 14). Ebensogut kann man die Leiterplatte auch durch Aufreiben kurzer Leitungsstückchen aus einem »typofix-universal«-Blatt schon vor dem Ätzen der gewünschten Variante anpassen und spart damit Bohrungen und Brücken. Auch diese Schaltung läßt sich ein- und ausgangsseitig ähnlich ihren Vorgängern vielfältig in größere Schaltungskomplexe einfügen. Sie ist jedoch schon für sich allein recht interessant. Da sich einige Minuten Leuchtzeit ergeben, kann man sie z. B. als automatisch verlöschendes »Einschlaflicht« oder als Minutenbeleuchtung in Puppenhäusern einsetzen.
Die gestrichelt eingezeichneten Widerstände sind nur für Transistoren mit merklichem Reststrom nötig; man kann also auf diese Leiterplatte auch billige ältere Germaniumtransistoren setzen. Die Polarität von U_B und C ist dabei umzudrehen, da sie im allgemeinen die Zonenfolge pnp haben. Diese Widerstände (etwa 100 kΩ in der ersten Stufe und etwa 1 kΩ in der zweiten) setzen allerdings die Leuchtzeit herab.

4.4. Schwellwertschalter

Das ist die allgemeinere Bezeichnung für eine Gruppe von Schaltungen, bei denen sich am Ausgang (mehr oder weniger) sprunghaft der Zustand ändert (z. B. Lampe dunkel auf Lampe hell und umgekehrt), wenn die Eingangsgröße beliebig langsam einen schaltungsabhängigen Grenzwert über- oder unterschreitet. Am bekanntesten ist der sogenannte Schmitt-Trigger (Triggern heißt Auslösen). Ein schneller Übergang zwischen »Aus« und »Ein« bewahrt z. B. den Ausgangstransistor vor größerer Wärmebelastung, die auftritt, wenn er noch nicht ganz durchgeschaltet ist, so daß das Produkt $I \cdot U$ in ihm zu höherer Wärmeentwicklung führt. Eine eindrucksvolle Anwendung solcher Schwellwertschalter ist das automatische Schalten einer Beleuchtung, wenn die Außenhelligkeit einen bestimmten Wert erreicht hat. Daß im Übergangsbereich bei kleinen Änderungen in beiden Richtungen ständig umgeschaltet wird, verhindert die meist schon durch die Schaltung gegebene »Hysterese«: Einschalten erfolgt erst, wenn der Steuerwert den Ausschaltwert wieder merklich über- oder unterschritten hat. Man erreicht ein solches Schaltverhalten nur unvollkommen, wenn nach Bild 15 lediglich durch große Gesamtverstärkung dieser Zwischenbereich nur klein ist. Dieser Versuch soll auch vielmehr zeigen, wie eine solche Transistorkombination – im Unterschied zum vorigen Abschnitt – wirkt: Wird der erste Transistor durch Basisstrom geöffnet, entzieht er dem zweiten den Basisstrom, und dieser schließt. Die Lampe leuchtet also, wenn der Eingang eine kleinere Spannung als die für T 1 erforderliche Basisspannung erhält! Der zusätzliche Widerstand in Bild 16 verbessert das Verhalten der Schaltung entscheidend. Nun besteht keine Gefahr mehr, daß für einen ganz bestimmten Einstellpunkt der zweite Transistor gerade »halb« geöffnet ist und damit warm werden kann (bei zu kleinem Kollektorwiderstand könnte er dabei überlastet werden). Beide Emitterströme fließen über den gemeinsamen Stellwiderstand. Für einen bestimmten Wert der Eingangsspannung (von höheren Werten her) nimmt die Leitfähigkeit von T 1 ab, so daß T 2 Basisstrom erhält. Dieser ergibt – entsprechend verstärkt – über dem gemeinsamen Widerstand eine Gegenspannung für die Eingangsspannung, so daß sich der Basisstrom für T 1 verringert. T 1 leitet dadurch noch weniger, und T 2 übernimmt fast schlagartig den gesamten Basisstrom, der vorher Kollektorstrom von T 1 war. Das alles geschieht bei einem durch die Daten der Schaltung (Widerstandswerte, Transistordaten, Betriebsspannung) festgelegten Wert. Es gibt keinen »schleichenden« Übergang (vorausgesetzt, T 1 erhält seine Steuerspannung nicht von einer Spannungsquelle mit zu hohem Innenwiderstand!). Da durch T 2 ein größerer Kollektorstrom fließt als vorher durch T 1 – man beachte die Widerstandsverhältnisse –, muß nun die Eingangsspannung wesentlich höher werden, bevor wieder für T 1 genügend Basisspannung (Eingangsspannung minus Spannung über gemeinsamem Widerstand) zur Verfügung steht. Das ist die bereits erwähnte Hysterese. Das Verhalten der Schaltung wird durch die Ergänzung nach Bild 17 noch verbessert, denn jetzt muß die Kollektorspannung von T 1 nicht so weit

absinken (also der Steuerstrom für T 1 nicht so groß werden) wie vorher. Durch die Spannungsteilung für die Basis von T 2 hat T 1 noch eine höhere Kollektorspannung, wenn die Basisspannung von T 2 bereits infolge des Spannungsteilers unter den Schwellwert gesunken ist. Bild 17 enthält gleichzeitig eine praktische Anwendung des Schmitt-Triggers, die große Verbreitung u. a. als automatisches Parklicht für Kraftfahrzeuge gefunden hat: Der Widerstand von Plus zur Basis von T 1 ist ein Fotowiderstand. Solange es hell genug ist, hält er T 1 geöffnet und damit T 2 geschlossen. Die Lampe bleibt dunkel, und die Stromaufnahme der Schaltung ist klein. Unterhalb einer Mindestaußenhelligkeit, die bei voll eingeschaltetem 10-kΩ-Widerstand (Empfindlichkeitssteller) am niedrigsten ist, leuchtet die Lampe auf. Wird es wieder etwas heller, so verlischt sie ebenso plötzlich. Eine interessante Nebenanwendung hat diese Schaltung als Warnblinker, der sich erst im Dunklen selbsttätig einschaltet und damit z. B. Baustellen oder andere Gefahrenherde auffällig markieren kann. Während man nämlich beim Parklicht (selbstverständlich) keinesfalls das eingeschaltete Licht auf den Fotowiderstand fallen lassen darf, wird das beim Warnblinker bewußt getan. Lampe und Fotowiderstand sind dazu in einem bestimmten Abstand voneinander anzuordnen, den man erproben muß. Nun bekommt die Schaltung periodisches »Kippverhalten«, wobei Lampen- und Fotowiderstandsträgheit dafür sorgen, daß sich ein mehr oder weniger temperamentvolles Blinken ergibt, das außerdem von der noch vorhandenen Umgebungs-»Resthelligkeit« beeinflußt wird. Während auf der Leiterplatte also vorher der Fotowiderstand durch ein Stück Pappe von der Lampe abzuschirmen war, dreht man ihn für diese Anwendung sogar in Richtung zur Lampe.
Für alle drei vorgestellten Schaltungsvarianten (wovon die erste nur experimentelle Bedeutung hat) zeigt Bild 18 ein Leiterbild. Die Bestückungsvarianten werden gemäß Bild 19, Bild 20 und Bild 21 vorgenommen.

4.5. Lichtschranken

In Anlehnung an Abschnitt 4.4. lassen sich weitere Einsatzfälle ableiten. Für die Anwendung nach Bild 22 genügt bereits ein einfacher Schwellwertschalter ohne Kippverhalten, weil die Helligkeit der den Fotowiderstand beleuchtenden Lampe genügend hoch gewählt werden kann. Beim Unterbrechen des Lichtstrahls durch eine Person oder einen (z. B. zu zählenden) anderen Körper ist wiederum der Sprung zu höheren Widerstandswerten hoch genug. Damit wird der ungünstige Bereich der Schaltung schnell durchfahren. In dieser Variante wurde statt der Verbindung Kollektor T 1 nach Basis T 2 die schon aus Abschnitt 4.3. bekannte Schaltung (Emitter T 1 nach Basis T 2) verwendet. Dadurch leuchtet die Lampe, solange der Fotowiderstand beleuchtet wird (und das 10-kΩ-Potentiometer einen genügend hohen Widerstand hat), und verlischt beim Unterbrechen des Lichtstrahls. Somit ist diese Schaltung auch ein »Lichtmelder«. Als Leiterplatte kann die des Langzeitschalters (Bild 10 bzw. Bild 11) verwendet werden, wenn man sie nach Bild 23 bestückt. Statt der Lampe können mit einem Relais wieder beliebige Vorgänge ausgelöst werden, oder ein Zählwerk registriert die Menge der Objekte, die den Strahl in einer vorgegebenen Zeitspanne unterbrochen haben. Einfaches Vertauschen von Empfindlichkeits-Stellwiderstand und Fotowiderstand sowie Einfügen eines Schutzwiderstands (wenn der Stellwiderstand auf Kleinstwert gedreht wird, zerstört man den Transistor!) ergibt eine Lichtschranke mit umgekehrtem Verhalten (Bild 24). Jetzt leuchtet die Lampe immer (nur) dann, wenn der Lichtstrahl unterbrochen wird. Als Leiterplatte eignet sich ein Exemplar der bereits im vorigen Beispiel benutzten; auch einfaches Umrüsten ist möglich (Bild 25).
Als Lichtschrankenempfänger läßt sich selbstverständlich auch die Parklichtschaltung nach Abschnitt 4.4. einsetzen. Für die Lichtquelle benutzt man im Dauerbetrieb am besten eine von einem Klingeltransformator gespeiste 6-V-Lampe im Reflektorgehäuse einer Taschenlampe mit einstellbarer Lichtfleckgröße.

4.6. Feuchtemelder

An den Lichtstrahlempfänger nach Bild 22 kann statt des Fotowiderstands auch eine zweiadrige Leitung angeschlossen werden, die in zwei Elektroden endet. Dafür eignen sich Graphitstäbe aus Taschenlampenbatterien, denn an ihren Metallkappen kann gelötet werden. Überzieht man diese Metallfläche

anschließend mit einem Schutzlack, so stehen gegen Korrosion unempfindliche Feuchtefühler zur Verfügung, zwischen denen Strom nur dann fließt, wenn sie in eine leitende Flüssigkeit tauchen. Das kann bereits Leitungswasser sein, aber auch feuchtes Erdreich. Der Verstärker reagiert auf diesen Steuerstrom damit, daß die Lampe aufleuchtet. So kann also z. B. der Füllstand der Badewanne beim Auffüllen kontrolliert werden: Wenn die Lampe leuchtet, ist die Wasserzufuhr zu unterbrechen! Eine solche Schaltung kann also auch ein Magnetventil steuern, das dann selbsttätig geschlossen wird. Wegen ihrer großen Ähnlichkeit mit einer der soeben besprochenen Lichtschrankenschaltungen kann wiederum die Leiterplatte nach Bild 12 benutzt werden (Bestückung: Bild 26); auf die nochmalige Wiedergabe der Schaltung wurde verzichtet.

4.7. Lichtmelder mit Speicherverhalten

Wenn in einem dunklen Raum auch nur kurzzeitig Licht einfällt, kann das u. U. nachteilige Folgen haben. Wurde darin z. B. lichtempfindliches Material gelagert, so zeigt erst ein Test durch Entwickeln einer Probe dieses Mißgeschick an. Nutzt man den sonst beim Schmitt-Trigger nach Abschnitt 4.4. unerwünschten Effekt bei zu hohem Innenwiderstand der Steuerquelle aus, so vermag die Schaltung nach Bild 27 diese Panne sofort zu signalisieren: Einmaliger kurzer Lichteinfall schaltet die (natürlich außerhalb angebrachte) Signallampe an; sie bleibt hell, auch wenn es im Raum wieder dunkel wird. Erst kurzes Betätigen der »Löschtaste« stellt den alten Zustand wieder her. Der günstigste Wert des Stellwiderstands ist durch Versuch zu ermitteln. Man gehe vom Maximalwert aus. Eine Leiterplatte für dieses und das in Abschnitt 4.8. folgende Beispiel zeigt Bild 28. Der Lichtmelder ist gemäß Bild 29 zu bestücken. Der Fotowiderstand (oder die Lampe) und der Taster müssen extern angeschlossen werden, je nach Lage des Überwachungsortes.

4.8. Schallmelder mit Speicherverhalten

Auf der gleichen Leiterplatte wie in Abschnitt 4.7. läßt sich dieser Schallmelder nach Bild 30 unterbringen, der nach dem ersten Auftreten eines genügend lauten Geräuschs dies durch bleibendes Leuchten der Signallampe anzeigt. Wieder wird der spezielle Effekt des Schmitt-Triggers bei großem Widerstand der Speisequelle (das ist das Widerstandsnetzwerk zwischen der Basis und der Betriebsspannung) ausgenutzt.
Die Schaltung muß zunächst ohne Mikrofon eingestellt werden, und zwar so: Schleifer des 10-kΩ-Stellwiderstands nach Minus hin so weit verstellen, bis Lampe gerade leuchtet, dann etwas zurückstellen und Lampe mit Taster wieder löschen. Nun wird das Mikrofon angeschlossen. Wie im Baukastenversuch, so eignet sich auch für Daueranwendungen dafür eine hochohmige Kopfhörerkapsel gut, da sie bei Auftreffen einer ausreichenden Schallamplitude einen genügend hohen Signalpegel liefert. Diese Wechselspannung überlagert sich der dicht über Abschaltwert eingestellten Basisvorspannung von T 1, so daß dieser kurzzeitig gesperrt wird. Den Rest übernimmt das Triggerverhalten der Schaltung: T 2 wird leitend, dadurch sperrt T 1 zuverlässig, und die Lampe leuchtet bis zum Betätigen der Löschtaste. Auf Grund der Notwendigkeit, den Schaltpunkt relativ genau einstellen zu müssen, da eine nur kleine Signalamplitude auftritt, ist das Ganze thermisch nicht besonders stabil. Man bedenke, daß die Basisschwellspannung eines Transistors mit steigender Temperatur um etwa 2 mV/K sinkt. Man kann jedoch den Eingriffspunkt mit einer Schallquelle höherer Spannung verbinden, z. B. mit dem Ausgang einer NF-Verstärkerstufe. Dann läßt sich ein größerer Sicherheitsbereich einstellen, und gleichzeitig wächst noch die Empfindlichkeit für schwächere Schallsignale.
Die Leiterplatte nach Bild 28 ist nach Bild 31 zu bestücken. Das Mikrofon wird über eine Leitung angeschlossen.

4.9. Astabiler Multivibrator als Blinker

Die Schaltungen A 27 und B 16 des »Polytronic-ABC« haben dabei auf Grund ihrer relativ kritischen Einstellung wieder mehr experimentellen Charakter. Zuverlässig arbeitet dagegen ohne besondere

Einstellmaßnahmen der astabile Multivibrator nach Bild 32. Voraussetzung ist allerdings, daß die Basiswiderstände bestimmte Höchstwerte nicht überschreiten. Sie sind durch die Stromverstärkungen und durch die Werte der Kollektorwiderstände gegeben. Man sollte $R_B = 0{,}8 \cdot B \cdot R_C$ nicht überschreiten, bei $R_C = 1$ kΩ und $B = 100$ also 80 kΩ. Anderenfalls wird der Transistor in der Durchlaßphase nicht völlig geöffnet. Die Blinkfrequenz kann besonders wegen der großen Toleranzen von Elektrolytkondensatoren nur überschlägig berechnet werden. Für die Schwingungsdauer einer Schwingung gilt etwa $T = 0{,}7\,(C1\,R1 + C2\,R2)$. Die Schaltung beginnt sofort nach dem Einschalten zu blinken, denn der Einschaltstrom findet stets einen der beiden Transistoren als den schneller leitenden vor. Im »eingeschwungenen« Zustand läuft periodisch dies ab: Helle Lampe heißt, daß T 2 gerade leitet, also niedrige Kollektorspannung. Bei Übergang in diesen Zustand liegt C 1 mit seiner (gegen die Basis negativen) Spannung praktisch gegen Minus an der Basis von T 1 und sperrt diesen. R 1 lädt nun C 1 so lange um, bis die Basis wieder etwa + 0,6 V erhält und T 1 in den leitenden Zustand bringt. Damit wird jetzt C 2 zur Sperrspannungsquelle für T 2, nachdem er zunächst über den leitend werdenden T 1 nur einen Teil des Basisstroms von T 1 abgeleitet hat. Die Kollektorspannung von T 2 steigt dabei, so daß über C 1 an die Basis von T 2 ein zusätzlicher Strom gelangt, der ihn weiter öffnet. Damit kippt die Schaltung in den Zustand »Lampe aus«. Er dauert so lange, bis sich nun C 2 über R 2 gegenüber der Basis von T 2 auf etwa 0,6 V aufgeladen hat usw. Für diesen vielseitig einsetzbaren Blinker, dessen Blink- und Leuchtzeiten durch Wahl entsprechender C-Werte stark variiert werden können, wurde die Leiterplatte nach Bild 33 entworfen, die nach Bild 34 zu bestücken ist.

4.10. Astabiler Multivibrator als lichtgesteuerter Tongenerator

Der weite mögliche Frequenzbereich des in Abschnitt 4.9. vorgestellten Multivibrators erlaubt es auch, Signale im Hörbereich zu erzeugen. Fügt man in die Schaltung noch einen Fotowiderstand ein, so ergibt sich ein lichtgesteuerter Signalgenerator (Bild 35). Er arbeitet bei dieser Beschaltung nur bei ausreichender Helligkeit, läßt sich also u. a. als akustischer Lichtmelder einsetzen. Der induktive Widerstand des Kopfhörers beeinflußt das Verhalten des Generators, da in einer Induktivität der Strom bei Anlegen einer Spannung nicht sofort seinen Endwert erreicht, der dann nur noch vom ohmschen Widerstand der Spule abhängt. Das bedeutet eine vom Rechenwert verschiedene Schwingfrequenz und eine Kurvenform der Schwingung, die deutlich vom Rechteck eines reinen RC-Multivibrators abweicht. Der günstigste Arbeitspunkt des zweiten Transistors und damit der Gesamtschaltung, was das Schwingverhalten betrifft, wird mit dem Widerstand (etwa 100 kΩ) nach Gehör eingestellt. Der Fotowiderstand ist etwa der gewünschten Ansprechhelligkeit auszusetzen. Wird statt des Fotowiderstands eine Taste angeschlossen, so kann man mit dieser Schaltung auch Morsen üben. Günstiger (wegen der Stromaufnahme) ist dann aber Tasten der Betriebsspannung; die Anschlüsse des Fotowiderstands werden dabei ständig überbrückt.
Der Tongenerator kann auf der Leiterplatte nach Bild 33 untergebracht werden, wenn diese nach Bild 36 bestückt wird.

4.11. Monostabiler Multivibrator

Der astabile Multivibrator nach Abschnitt 4.9. und Abschnitt 4.10. bleibt abwechselnd jeweils eine bestimmte Zeit in jedem der beiden möglichen Zustände, die durch die Lampe angezeigt werden. Die Zeit für jede Phase wird von den beiden RC-Kombinationen an den Basisanschlüssen der Transistoren bestimmt. Die Schaltung nach Bild 37 enthält nur eine RC-Kombination, die andere Basis ist »galvanisch« mit dem Kollektor des anderen Transistors verbunden. Daraus ergibt sich, daß die Schaltung nur für einen der Zustände, die sie einnehmen kann, unstabil ist. Im anderen Zustand dagegen verharrt sie stabil. Dieses Verhalten nennt man monostabil. Es zeigt sich also: Im (stabilen) Ruhezustand ist der Kondensator C etwa auf $U_B - U_{BE\,1}$ aufgeladen. T 1 erhält über seinen Basisvorwiderstand Strom und leitet. Dadurch ist T 2 gesperrt, so daß also an seinem Kollektor die volle Batteriespannung U_B steht. Schon ein kurzer Druck auf die Taste bewirkt, daß T 1 sperrt. Damit öffnet T 2, sein Kollektorpotential sinkt auf einen kleinen Wert (Sättigungsspannung), die Lampe leuchtet, und die Spannung des Kondensators liegt nun, vermindert um die Sättigungsspannung von T 2, als Sperrspannung an der Basis von T 1. Das ist der

unstabile Zustand der Schaltung, denn nun lädt sich C zunächst über den Basisvorwiderstand von T 1 so weit auf, bis T 1 wieder leitend wird. Er entzieht damit T 2 Basisstrom, und dessen Kollektorspannung steigt. Damit wird aber nun über C ein in die Basis von T 1 fließender Ausgleichsstrom hervorgerufen, der T 1 schnell ganz öffnet. Der Ruhezustand der Schaltung ist wieder erreicht, bei dem die Lampe dunkel ist. Ihre Hellzeit hängt von C und vom Basisvorwiderstand von T 1 ab. Dieser Widerstand hat aber einen oberen Grenzwert, denn der von ihm bestimmte Basisstrom muß so groß sein, daß T 1 in der stabilen Lage genügend leitet, um T 2 zu sperren. Die Ähnlichkeit der Schaltung mit der des astabilen Multivibrators erlaubt es, sie auf der gleichen Leiterplatte zu realisieren. Daraus ergibt sich der Bestükkungsplan nach Bild 38.
Gegenüber dem Baukastenversuch wird T 1 über einen Kondensator gesperrt. Damit ist die Hellzeit unabhängig von der Betätigungszeit der Taste. Anderenfalls würde bei zu lange gedrückter Taste C bereits erheblich entladen werden, so daß T 1 schneller wieder geöffnet ist.

4.12. Bistabiler Multivibrator

Es wurde bereits mehrfach festgestellt, daß die durch einen ausreichend hohen Basisstrom leitfähig gewordene Kollektor-Emitter-Strecke eines Transistors in der Lage ist, die Basis-Emitter-Spannung eines zweiten Transistors auf einen so kleinen Wert zu bringen, daß dieser zweite Transistor sperrt. Wenn man diese Verknüpfung »über Kreuz« anbringt, so sperrt also stets einer der beiden Transistoren, während der andere geöffnet ist. Welcher welchen Zustand einnimmt, wenn die Betriebsspannung angelegt wird, bestimmt der Zufall. Einer ist immer etwas schneller als der andere. Man kann das bei Bedarf mit kleinem Zusatzaufwand definiert beeinflussen, z. B. durch einen Kondensator, der die eine Basisspannung langsamer steigen läßt als die andere. Da eine solche Schaltung nach Bild 39 zwei mögliche stabile Zustände hat, heißt sie bistabiler Multivibrator. Man kann nun jeden der beiden Basisanschlüsse herausführen und wahlweise kurz mit Minus verbinden. Verändern wird sich aber nur etwas, wenn man die Basis des gerade geöffneten Transistors trifft. Das ist z. B. T 1, wenn die Lampe dunkel ist, denn dann entzieht T 1 dem Transistor T 2 den Basisstrom. Sperrt man T 1 auf diese Weise kurzzeitig, so übernimmt die Basis von T 2 den Strom über den Kollektorwiderstand von T 1 und den Vorwiderstand und bringt T 2 in den leitenden Zustand. Damit leuchtet die Lampe. Da T 2 nun für den Strom geöffnet ist, steht an seinem Kollektor nur noch wenig Spannung. Das bedeutet weiterhin Sperren von T 2, auch nach Aufheben der Masseverbindung seiner Basis. Sie reagiert auch auf kein erneutes Berühren mehr. Anders jetzt die Basis von T 2: Vorher ohne Reaktion, läßt eine auch nur kurzzeitige Verbindung zwischen ihr und Masse die Lampe wieder verlöschen. Das bleibt dann auch beliebig lange so, da jetzt für T 2 die gleichen Sperrverhältnisse gegeben sind wie davor für T 1. Dieser erhält nun von der auf einen Wert nahe der Batteriespannung (Lampen-R viel kleiner als übriger Widerstand!) angestiegenen Kollektorspannung Öffnungsstrom. Die Widerstandswerte weichen von denen des Baukastenexperiments ab, denn bei jenem war die recht hohe Sättigungsspannung von T 2 bei Lampenstrom zu berücksichtigen, die vor allem im ersten Moment durch den hohen Lampen-Kaltstromstoß noch wesentlich größer ist als im »stationären« Betrieb. Durch die günstigere Transistortypenwahl erübrigt sich auf der Leiterplatte eine Einstellung durch Potentiometer, so daß das Leiterbild für den astabilen und für den monostabilen Multivibrator auch hier verwendet werden kann. Bestückt wird jetzt nach Bild 40.
Große praktische Bedeutung hat der bistabile Multivibrator in der Digitaltechnik als kleinste Speicherzelle erlangt (Flip-Flop, neuerdings auch Trigger genannt); er ist auch Bestandteil von Frequenzteilern u. ä. Die inzwischen längst durch integrierte Schaltungen (vgl. Bauplan Nr. 37 – »Digitalmosaik«) abgelöste Transistorschaltung läßt sich für solche Zwecke meist vorteilhafter durch Impulse steuern. Dann genügt für die Steuerung beider Zustände ein einziger Eingang. Ein kurzer negativ (also gegen Minus) laufender Impuls sperrt die jeweils »aktive« Basis. Der nächste Impuls steuert dann den anderen Transistor usw. Die Schaltung muß dazu allerdings nach Bild 41 ergänzt werden.
Heute realisiert man die Grundschaltungen der Digitaltechnik mit integrierten Schaltkreisen, vgl. u. a. die Baupläne Nr. 37 und Nr. 40. Zu beiden gibt es ebenfalls »typofix«-Folien.

4.13. NF-Verstärker

Bisher wurde vorwiegend das Verhalten von Transistoren im Schalterbetrieb behandelt. Sie waren entweder ein- oder ausgeschaltet; der Übergangsbereich war dagegen im allgemeinen unerwünscht. Im folgenden interessiert der Betrieb des Transistors bei einem »Arbeitspunkt« zwischen Sperren und völligem Leiten. Das hat einige Wirkungen: Vor allem können jetzt kleine Spannungsänderungen, über Kondensator in die Basis eingekoppelt, den Kollektorstrom beeinflussen; vorher dagegen mußte man immer erst die Basis-Schwellspannung überwinden. Das besorgt jetzt ein Widerstand genügender Größe, der in die Basis einen gerade günstigen Strom einspeist, damit z. B. am Kollektor eine Spannung in der Größenordnung von $U_B/2$ entsteht. Die Schaltung nach Bild 42 erfüllt diese Bedingungen bei

$R_B = \frac{2\,R_C}{U_B} \cdot B \cdot (\frac{U_B}{2} - U_{BE})$. Abweichungen von $U_B/2$ sind besonders bei Kleinsignalverstärkern ohne

Bedeutung. Ein am Eingangskondensator eingespeister Wechselstrom (für diesen ist C ja durchlässig) erscheint, um B verstärkt, im Kollektorkreis und ergibt dort die Wechselspannung $B \cdot I_B \cdot R_C$. Solange sie wesentlich kleiner als $U_B/2$ bleibt, ist die Verstärkung verzerrungsarm. Der Wechselstrom wird von der zu verstärkenden Wechselspannung, dem Innenwiderstand der Wechselspannungsquelle und dem Eingangswiderstand der Basis-Emitter-Strecke bestimmt: $I_B = U_{\sim}/(R_i + R_E)$. In der vorgestellten Schaltung trägt aber der Basiswiderstand, da er vom Kollektor her den Basis-Arbeitspunktstrom zuführt, zur Verringerung des Eingangswiderstands bei. Dadurch wird die erreichbare Verstärkung zwar kleiner, aber diese »Gegenkopplung« sorgt auch dafür, daß der Arbeitspunkt weniger von Exemplardaten und Temperatur abhängt als bei Zuführung von Plus direkt. Denn: Falls z. B. U_C steigen will, steigt auch I_B, so daß I_C wächst und über R_C wieder U_C verringert. Daß die gesamte Spannungsverstärkung kleiner ist als zunächst erwartet, liegt auch an der Belastung des Ausgangs: Dem R_C ist nämlich über den Auskoppelkondensator noch »wechselspannungsmäßig« der Lastwiderstand parallelgeschaltet, im Beispiel der Kopfhörer mit seinen 2 kΩ.
Für den Anfang mögen diese Informationen genügen; entsprechende weiterführende Literatur wird der Anfänger, mit den Erfahrungen dieser Versuche als Ausgangspunkt, ohnehin bald lesen wollen. Woher stammen die zu verstärkenden Eingangsspannungen? Von allen Wechselspannungsquellen, die man sich denken kann, je nachdem, was zu verstärken ist: Mikrofon, Plattenspieler-Tonabnehmer (unter Beachtung des hohen Quellwiderstands), Empfänger-Eingangsteile usw. Der erste Versuch beschränkt sich darauf, auch an den Eingang eine Hörkapsel anzuschließen, die dann als Mikrofon wirkt.
Für diesen bereits vielfältig einsetzbaren einfachen Verstärker und für die folgenden Beispiele entstand das Leiterbild nach Bild 43. Die Leiterplatte wird für diesen Verstärker nach Bild 44 bestückt.
Eine zweite Stufe erhöht die Verstärkung beträchtlich – unter Berücksichtigung der Lastwiderstände um den Faktor der Verstärkung der zweiten Stufe. Für eine Stufenverstärkung von 33 z. B. würde sich bei zwei Stufen eine Gesamtspannungsverstärkung von $33 \cdot 33 \approx 1000$ ergeben! Nun legt man allerdings diese Stufen je nach Signalamplitude und Lastwiderstand unterschiedlich aus. Für das Beispiel nach Bild 45 wurde im Baukastenversuch z. B. zunächst noch ein Spannungsteiler für die Basis des zweiten Transistors benutzt. Da er direkt an Plus liegt, folgt der Arbeitspunkt jeder Temperaturänderung, und auch die Einstellung der Widerstände ist kritisch. Für die Leiterplatte wurde daher in der ersten Stufe gegengekoppelt, was allerdings einen kleineren Verstärkungsfaktor ergibt. Der zusätzliche Widerstand von Basis nach Masse entlädt den Koppelkondensator, der bei größeren Aussteuerungen durch die Basis-Emitter-Diode geladen wird. Als praktisches Beispiel für den Einsatz dieser bereits relativ hoch verstärkenden Baugruppe, deren Bestückung für die Leiterplatte nach Bild 43 gemäß Bild 46 vorgenommen wird, nennt die Baukastenanleitung einen Telefonmithörverstärker. Als Fangspule reicht bereits ein mit einigen hundert Windungen Kupferlackdraht bewickelter Ferritstab; noch wirksamer ist ein altes Rund- oder Flachrelais, von dem der Anker entfernt wurde. Die Spule ist an einer zu erprobenden Stelle des Telefons anzuordnen. Am besten wählt man für die Versuche eine automatische Ansage an, z. B. den Wetterbericht. Zwei Hinweise zu dieser Schaltung sind wichtig: In Sendernähe können Rundfunksender stören. Die hohe Grenzfrequenz der Transistoren kann außerdem zur HF-Selbsterregung führen. Beide Effekte beseitigt je ein kleines Scheiben-C von etwa 220 pF zwischen Basis und Kollektor jedes Transistors, leiterseitig angelötet.
Der Eingangswiderstand der beiden Verstärker liegt im Kiloohmbereich. An hochohmige Quellen

kann man sie nur anschließen, wenn es nicht stört, daß deren Klemmenspannung dabei erheblich zusammenbricht. Nach Bild 47 dagegen erhält man einen Eingangswiderstand, der etwa dem Produkt aus Stromverstärkung und (gesamtem) Widerstand im Emitterzweig entspricht. Dieser Widerstand ist hier die Parallelschaltung des ohmschen Widerstands mit dem Eingangswiderstand der nächsten Stufe. Angenommen, das sei etwa 1 kΩ, dann ergibt sich $R_E = B \cdot 10^3$, also mit B = 100 z. B. 100 kΩ. Das ist für hochohmige Quellen meist schon eine akzeptable geringe Belastung (Beispiel: Anschluß an Kristalltonabnehmer oder hochohmigen Ausgang anderer Plattenspieler). Daß die Spannungsverstärkung der Stufe jetzt weniger als 1 beträgt, stört meist nicht, da die Ausgangsspannung solcher Quellen im allgemeinen bereits bei einigen hundert Millivolt liegt. Die Bestückung der Leiterplatte von Bild 43 für Bild 47 geht aus Bild 48 hervor. Hochohmige Quellen über Schirmkabel anschließen!

4.14. Einfache Rundfunkempfänger

Auf Mittelwelle arbeiten, über die ganze DDR verteilt, eine Reihe teilweise starker Rundfunksender. Man kann sie vielerorts mit einfachsten Mitteln hören. Musik zum Einschlafen ist daher leicht zu realisieren. Um durch praktische Übungen zu eigenen Erfahrungen zu gelangen, versucht sich der Anfänger an den verschiedensten Schaltungsvarianten. Grundsätzliches zum Radiobasteln und weiterführende Beispiele findet er in dem 1974 in 4. Auflage erschienenen »Großen Radiobastelbuch«. Auf der Leiterplatte nach Bild 49 lassen sich 5 der im »Polytronic-ABC« angebotenen Empfängervarianten aufbauen.

Aus Platzgründen dazu nur noch einige kurze Informationen: Spule und Kondensator bilden einen Schwingkreis, der aus dem Senderangebot den Sender am stärksten hervorhebt, der seiner Resonanzfrequenz entspricht: $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$.

Wickelt man auf einen Ferritstab eng nebeneinander etwa 80 bis 90 Windungen Kupferlackdraht (Durchmesser etwa 0,4 mm) und legt sie mit Klebeband fest, so hat man Spule und Antenne in einem. Ihre wirksame Antennenhöhe ist aber nicht sehr groß, und so empfiehlt sich mindestens für Bild 50 zusätzlicher Anschluß von Antenne (wenigstens einige Meter Draht, frei aufgehängt) und Erde (Wasserleitung u. ä.). Damit sinkt allerdings auch die Trennschärfe.

Für diesen Grundversuch und für die vier folgenden Schaltungen steht die Leiterplatte nach Bild 49 zur Verfügung, zunächst nur bestückt nach Bild 51. Die Schwingkreisteile werden, da sie von der örtlichen Beschaffungslage abhängen, außen angeschlossen. Bild 52 trennt HF- und NF-Teil durch eine NF-Verstärkerstufe. Jetzt darf der Arbeitswiderstand größer sein (man erprobe das Optimum!); allerdings belastet auch der (Wechselspannungs-)Eingangswiderstand der bereits bekannten NF-Stufe den Schwingkreis. Da die Antennenspannung jetzt kleiner sein darf, ergibt sich dadurch ebenfalls ein günstigeres Verhalten bei stärkeren Sendern. Die Bestückung der Leiterplatte nach Bild 49 wird gemäß Bild 53 vorgenommen.

Man kann auch die Basis-Emitter-Strecke des Transistors als HF-Gleichrichter benutzen und spart damit die Diode. Dieser Effekt wurde in Bild 54 ausgenutzt. Als trennschärfeverbessernde Maßnahme trägt die Spule außerdem eine Koppelwicklung, deren Windungszahl zwischen 10 und 30 liegt, je nach örtlichen Verhältnissen. Diese Schaltung wird auf der Leiterplatte nach Bild 49 entsprechend Bild 55 untergebracht. Die Koppelwicklung wird über das »erdseitige« Spulenende gewickelt. Auch die Schaltungen nach Bild 56 und Bild 57 lassen sich auf der Empfängerleiterplatte unterbringen (Bild 58, Bild 59).

4.15. LC-Tongenerator

Das Resonanzprinzip – bekannt aus dem Physikunterricht – ist für Empfang und Trennung von Rundfunksendern von entsprechender Bedeutung, wie die Versuche nach Abschnitt 4.14. beweisen. Mit einem solchen Schwingkreis aus L und C lassen sich, wenn beide groß genug sind, auch hörbare Schwingungen erzeugen. Bild 60 nutzt die Induktivität der Kopfhörerkapsel aus. Die Kreiskapazität wurde unterteilt. 2 × 0,1 μF in Serie ergibt 50 nF als wirksames C. Der Verbindungspunkt beider Kondensatoren ist für unsere Schaltung sehr wichtig. Dadurch wird der Basis-Emitter-Strecke bei entsprechend günstig eingestelltem Arbeitspunkt (das Potentiometer muß zunächst eine Basisspannung oberhalb des Schwellwerts liefern) Energie aus dem Schwingkreis im richtigen Sinne zurückgeführt. Eine kleine Änderung des Stroms im Kollektorkreis, z. B. beim Einstellen des Potentiometers über den Basisstrom erzeugt, führt wieder zu einer Basisstromänderung in richtigem Sinne, wird verstärkt usw. Der Generator schwingt dadurch auf einer von L und C bestimmten hörbaren Frequenz. Diese Erklärung ist stark vereinfacht, zeigt jedoch u. a., daß es auf die richtige Einstellung des Potentiometers ankommt, damit man etwas hört. Offensichtlich ist also auch die Höhe der Betriebsspannung für den Einsatzpunkt von Bedeutung. Das wird in der Variante »lichtgesteuerter Tongenerator« (in Bild 60 bereits mit eingetragen) ausgenutzt. Bei einer bestimmten Helligkeit setzen die Schwingungen ein. Durch Einfügen des Fotowiderstands wurde hier eine andere Möglichkeit eines akustischen Lichtmelders realisiert.

Bild 61 zeigt für beide Schaltungen eine Leiterplatte, die nach Bild 62 bestückt wird (ebenfalls wieder wahlweise mit oder ohne Fotowiderstand, je nach Einsatzzweck als Melder oder als Tongenerator für Prüfzwecke, für Morseübungen usw.).

4.16. Zweiklanghupe

Bei dieser Schaltung (Bild 63) wird ausgenutzt, daß auch der Kollektorwiderstand bei vom Normalwert abweichender Größe auf die Frequenz eines astabilen Multivibrators Einfluß hat. Bei Schließen und Öffnen des Schalters hört man unterschiedliche Töne. Gegenüber der Baukastenschaltung wurde eine Endstufe für Lautsprecherbetrieb angefügt; die Lautstärke ist vom Wert des Emitterwiderstands abhängig. Bei Inbetriebnahme Potentiometer auf Maximum stellen, ggf. mit Taste starten. Wird diese Schaltung mit einem astabilen Multivibrator genügend kleiner Frequenz gekoppelt (z. B. über ein Relais in dessen Ausgang), so kann der Ton automatisch den Klang eines Signalhorns annehmen. Bild 64 und Bild 65 zeigen Leiterplatte und Bestückungsplan dieses Bausteins.

5. Stromversorgung

Die für die Versuche ausreichende 4,5-V-Flachbatterie ist bei längerem Betrieb bald erschöpft. Für Dauereinsatz empfiehlt sich ein kleines Netzteil. Nach Bild 66 kann ein 6-V-Klingeltransformator die relativ geringen Ströme (100 mA werden kaum überschritten, auch bei 2 Einheiten an einem Netzteil) leicht bereitstellen. Die zunächst etwas ungewöhnlich wirkende Schaltung wird verständlich, wenn man bedenkt, daß ein nahe Leerlauf betriebener 6-V-Klingeltransformator wesentlich mehr als 6 V liefert. Am Kondensator entsteht ohne Last der Scheitelwert von $U_{eff} \cdot \sqrt{2}$. Die Gleichrichter reduzieren ihn mit ihrer Durchlaßspannung nur wenig, da sie bei kleinem Strom noch wesentlich weniger als 0,6 V benötigen. Das ist der Grund, daß an den 4,5-V-Ausgang ein Vorlastwiderstand von 680 Ω bis 1 kΩ angeschlossen werden sollte. Der Vorwiderstand der Z-Diode wirkt mit dem Transformatorinnenwiderstand zusammen und ergibt in der Z-Diode auch bei Leerlauf nicht mehr als die zulässige Leistung. Die beiden Dioden (eine, wenn eine 5,1-V-Z-Diode verfügbar ist, zwei bei SZ 600/5,6 bzw. 6,2) reduzieren die Ausgangsspannung um jeweils etwa 0,6 V, so daß man im gegebenen Lastbereich wieder ungefähr 4,5 V erhält. Unmittelbar mit der Z-Diodenspannung und ohne weitere Dioden kann die Baukastenbestückung betrieben werden, da dort 6 V gefordert werden (zur Erinnerung: große Sättigungsspannung der dort verwendeten Miniplasttransistoren). Die Leiterplatte nach Bild 67 mit Bestückung nach Bild 68 ist damit eine wirtschaftliche Quelle auch für das Experimentiersystem.

6. Prüfhinweise

Fehlermöglichkeiten beim Bestücken sind: unsaubere Lötstellen (dagegen helfen Übung, sauberes Lötbesteck, einwandfreies Flußmittel – säurefreie »Löttinktur« ist im Handel – und ausreichende

Kolbentemperatur), verpolte Elektrolytkondensatoren (die dann u. U. sogar heiß werden), falsch eingesetzte Transistoren und Dioden, vertauschte Widerstände usw. All dies ist nur durch sorgfältige Kontrolle zu erkennen. Lötbrücken sind eine weitere sichtbare Fehlerquelle. Bei erster Inbetriebnahme schaltet man am besten eine der verwendeten Glühlampen in Serie zur Speisespannung; die in vielen Schaltungen enthaltene Lampe wird solange entfernt. Je nach der Grundstromaufnahme der jeweiligen Schaltung darf die Lampe höchstens schwach glimmen, anderenfalls liegt einer der soeben genannten Fehler vor.

7. Gehäuse

Dieser Bauplan erscheint zu einem Zeitpunkt, da die Gehäuseteile des Systems »Amateurelektronik« leider nicht mehr ausreichend vorhanden sind. Das bot als positiven Aspekt lediglich die Möglichkeit, für den Anfänger etwas großzügigere Leiterplattenmaße zu entwickeln. Um die fertigen Einheiten vor äußeren Einflüssen zu schützen und sie ggf. mit anderen Teilen auch zu kleinen Geräten zusammenfügen zu können, bleibt ein anderer Ausweg, der in den jüngsten Bauplänen bereits mehrfach gezeigt wurde. Er führt zu den in Heimwerkerläden erhältlichen Polystyrol-Plastwandfliesen, die es in vielen Farben gibt. Für den Gehäusebau sind die etwa 3 mm dicken Platten von 120 mm Kantenlänge und mit glatter Außenfläche am günstigsten. Bild 69 faßt einige grundsätzliche Konstruktionshinweise dafür zusammen. Geklebt wird mit anlösendem Polystyrolkleber (z. B. »Plastikfix«), kleinere Stücke lassen sich mit der Laubsäge leicht herstellen.
Dazu die gemusterte Plattenrückseite im vorgesehenen Sägebereich mit Kerzenwachs einreiben, denn das vom Sägen erwärmte Sägeblatt verklemmt sich sonst schnell durch erweichte Polystyrolspäne. Auch das Sägeblatt selbst mit Wachs einreiben! Mit einer mittleren breiten Schlichtfeile lassen sich die Sägekanten gut glätten; vorher sollte man die noch thermisch angeklebten Späne mit der Hand entfernen. Beim Bohren vor allem größerer Löcher ist Vorsicht geboten, besser einen Kranz kleinerer Löcher anbringen oder von vornherein aussägen. Die Leiterplatten könnten zwischen eingeklebten schmalen Polystyrolstreifen eingeschoben werden; einfacher geht es aber mit kurzen Drähten, die man mit Lötkolben und Pinzette thermisch eindrückt (maximal 2 mm tief, damit sie nicht auf der Gehäuseaußenseite durchkommen; ggf. Streifen einkleben, so daß tiefer eingedrückt werden kann) – vgl. Bild 70. Wo Brumm- oder Sendereinstreuungen stören, mindestens an der Unterseite des Gehäuses eine kupferkaschierte Hartpapierplatte anbringen und ihre Folie mit dem Minuspol der Leiterplatte verbinden.

8. Bezugsquellen

Der RFT-Amateurbedarfshandel mit seinen zahlreichen Verkaufsstellen führt im allgemeinen alle verwendeten elektrischen Bauelemente. Man achte auch auf verbilligte Basteltypen! Glühlampen und Elektromaterial sowie Lötkolben, Plastwandfliesen usw. erhält man in den Heimwerkerabteilungen z. B. der Centrum-Warenhäuser. Die zur Unterstützung bei der Herstellung der Leiterplatten für diesen Bauplan entwickelte ätzfeste »typofix-electronic-special«-Folie wird mindestens von den RFT-Filialen Berlin, Erfurt und Leipzig sowie vom Elektronik-Versand 7264 Wermsdorf, Postfach, geliefert. (Wermsdorf versendet gegen Postanweisung, auf der Folienbezeichnung und Menge vermerkt sind; Folienpreis plus 0,40 M Porto überweisen!) Zum Bauplan gehören die Blätter »Elektronik-ABC 1« und »Elektronik-ABC 2«. Blatt 1 trägt die Leiterbilder 1 bis 9; auf Blatt 2 wurden neben Nr. 10 die Bilder von Blatt 1 teilweise nochmals untergebracht, soweit sie (geschätzt) mehr als zweimal nötig sind. Daher empfiehlt es sich, als Grundausstattung zweimal Blatt 1 und einmal Blatt 2 zu beziehen.
Per Nachnahme sind in Wermsdorf auch die elektronischen Bauelemente dieses Bauplans (je nach Liefersituation) erhältlich. Wer erst über diesen Bauplan auf das »Polytronic-ABC« aufmerksam wurde und mit ihm experimentieren möchte (neben diesen fertigen Leiterplatten oder auch in Kombination mit ihnen), der achte auf das Angebot in Warenhäusern und einzelnen RFT-Filialen.

9. Literatur

Anfängerliteratur für Elektroniker steht aus dem Militärverlag der DDR in den Reihen »Der junge Funker« und »Originalbaupläne« zur Verfügung, außerdem – weiterführend für Fortgeschrittene – u. a. durch folgende Buchtitel, die mindestens auch in öffentlichen Büchereien ausgeliehen werden können:

Das Große Radiobastelbuch
Das Große Elektronik-Bastelbuch
Das Große Schaltkreis-Bastelbuch
Das Große Bauplanbastelbuch
Amateurtechnologie

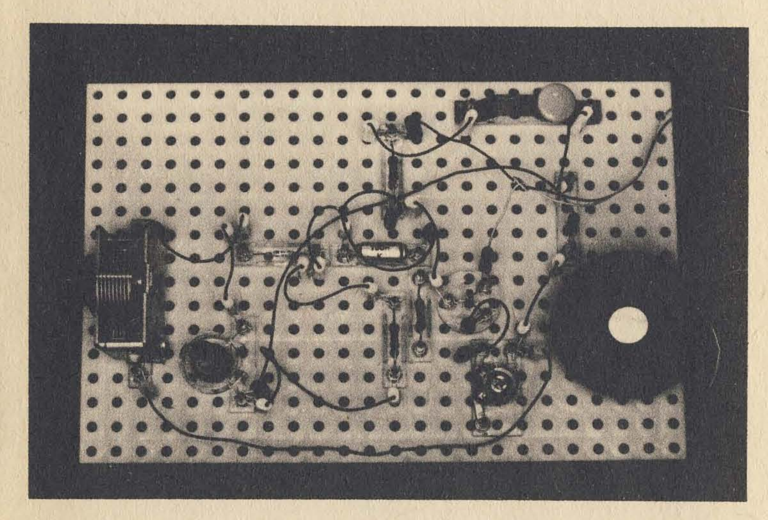


Bild 72
Mit »Polytronic-ABC« realisierter Rundfunkempfänger

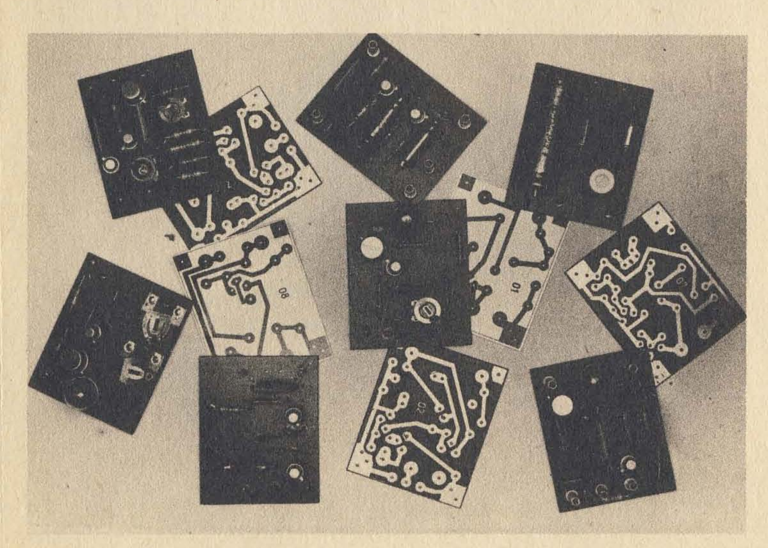


Bild 73
Ansichten der im Bauplan beschriebenen Leiterplatten, unbestückt und bestückt

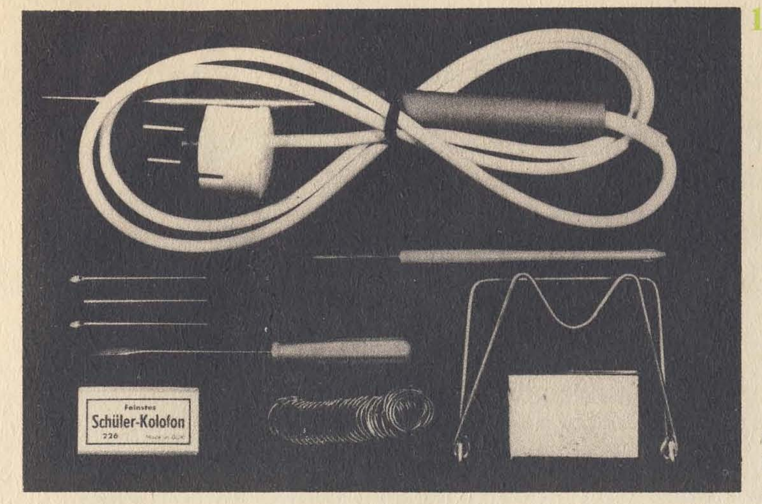


Bild 1
Lötkolbenbesteck „Delta-Quick-Junior“

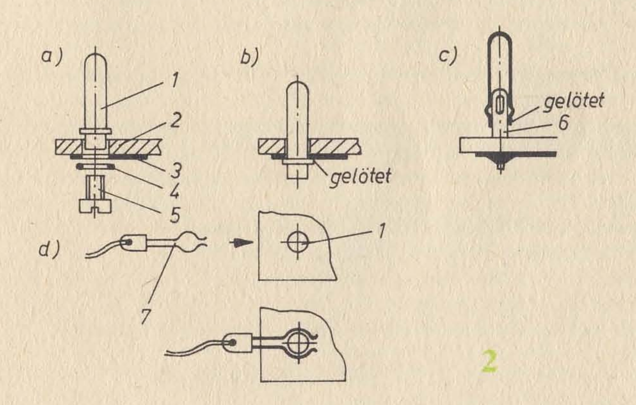


Bild 2
Rohrniet von Polytronic als Kontakt für die Leiterplattenbausteine: a – Schraube M3×4 zur Befestigung (1 Rohrniet, 2 Leiterplatte, 3 Cu-Folie, 4 Cu-Draht 0,8 als Ring, 5 Schraube); b – Direktmontage (Einlöten); c – auf Stecklötöse (6) gelötet; d – Federklammer (7) aus dem Baukasten

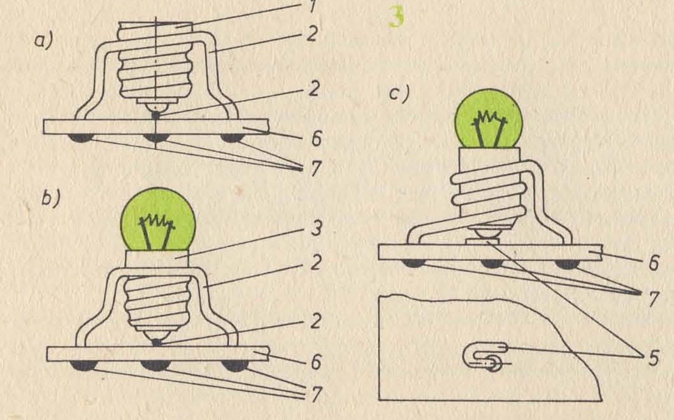
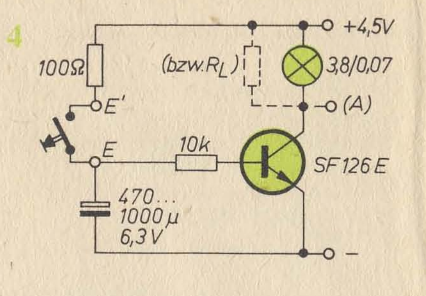
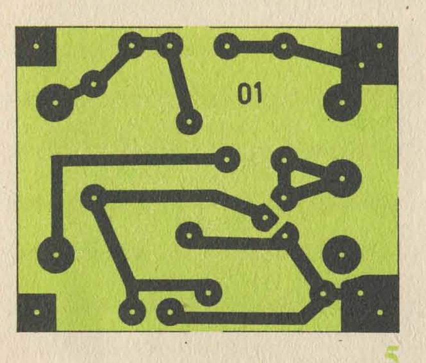


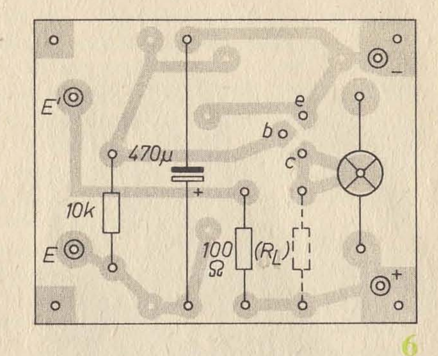
Bild 3
Befestigungsmöglichkeiten für Kleinglühlampen auf Leiterplatten: a – Fassung (1) ohne Schraubösen über Drähte eingelötet (2); b – Lampe über Drähte direkt eingelötet: c – Fassung aus Cu-Draht (∅ 0,8): 3 eingeschraubte Lampe, 4 Drahtwendel, 5 Drahtöse, 6 Leiterplatte, 7 Lötstellen

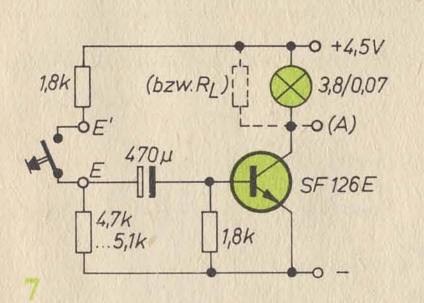
Bild 4
Stromlaufplan Verzögerungsschalter
(R_L statt Lampe, z. B. etwa 220 Ω)

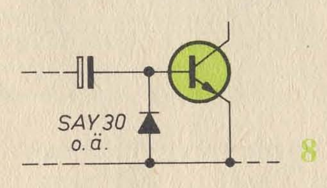
Bild 5
Leiterplatte 01











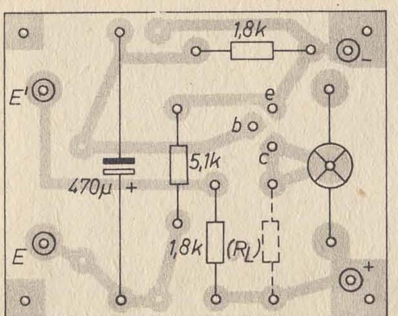


Bild 6
Bestückung der Leiterplatte 01 für Bild 4

Bild 7
Kurzzeitschalter (R_L wie Bild 4)

Bild 8
Begrenzungsdiode bei höheren Betriebsspannungen (Schaltungsausschnitt von Bild 7)

Bild 9
Bestückung der Leiterplatte 01 für Bild 7

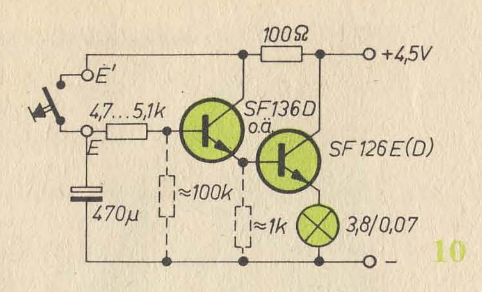
Bild 10
Langzeitschalter, Variante 1

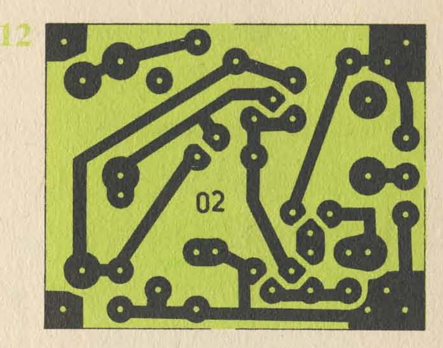
Bild 11
Langzeitschalter, Variante 2

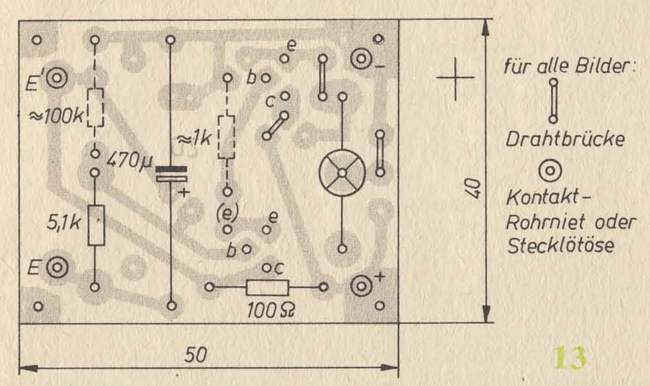
Bild 12
Leiterplatte 02

Bild 13
Bestückung von Platte 02 für Bild 10

Bild 14
Bestückung von Platte 02 für Bild 11





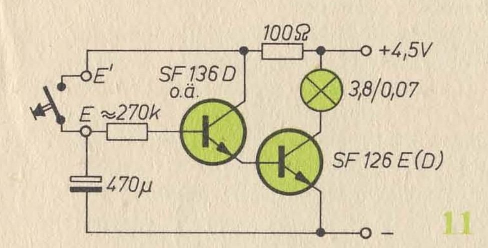


für alle Bilder:

Drahtbrücke

Kontakt-Rohrniet oder Stecklötöse

13



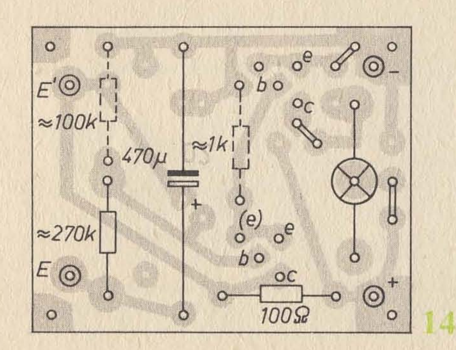


Bild 15
»Unvollkommener« Schwellwertschalter. Eingang E für Steuerung von außen über Schutzwiderstand von etwa 1 kΩ (47 kΩ entfällt dann)

Bild 16
Entscheidende Verbesserung durch gemeinsamen Emitterwiderstand. E wieder für mögliche Außensteuerung über etwa 1 kΩ. 47 kΩ entfällt dann. Diode mit Spitze nach unten parallel zu 100 Ω verringert Hysterese

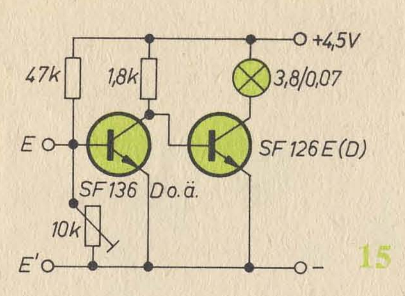
Bild 17
Weiter verbesserter Schwellwertschalter als Dämmerungsschalter (Parklicht u. ä.). Auch hier Diode parallel 100 Ω (oder statt 100 Ω) günstig

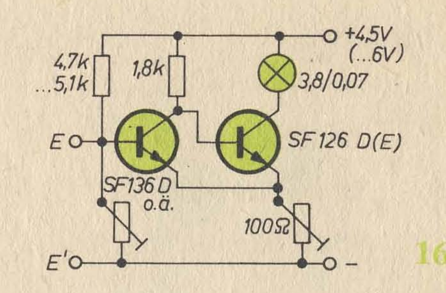
Bild 18
Leiterplatte 03

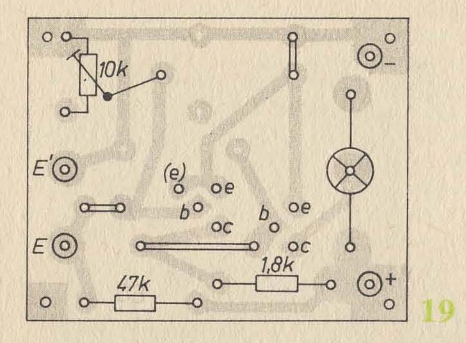
Bild 19
Bestückung von Platte 03 für Bild 15

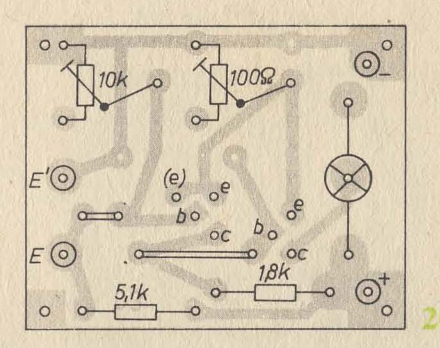
Bild 20
Bestückung von Platte 03 für Bild 16

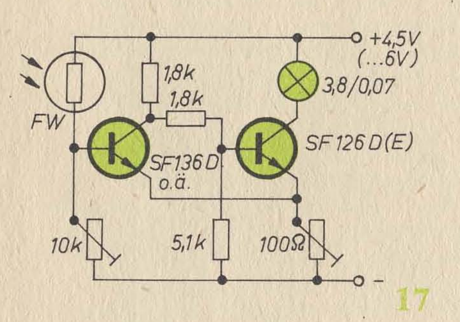
Bild 21
Bestückung von Platte 03 für Bild 17

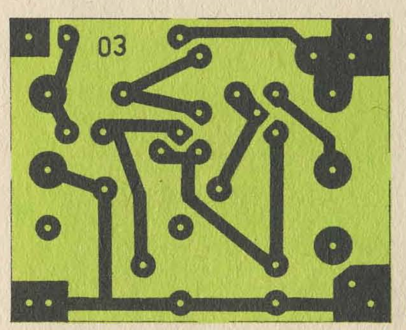


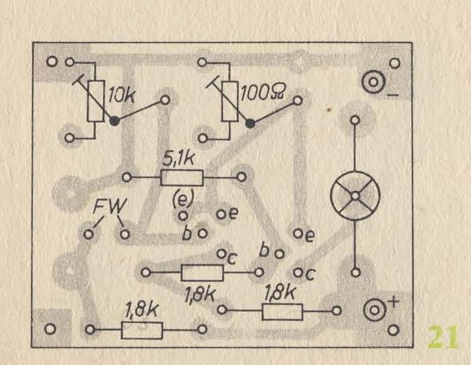


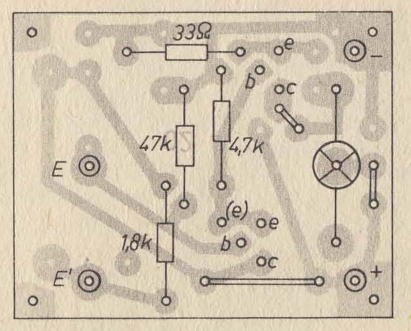


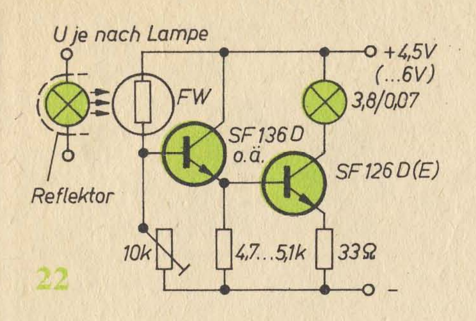


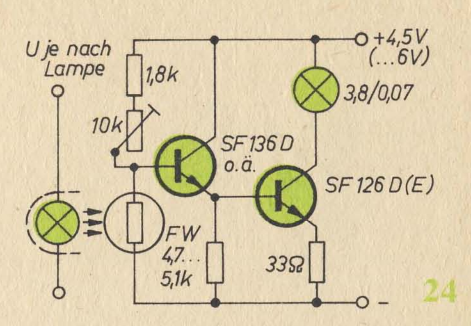


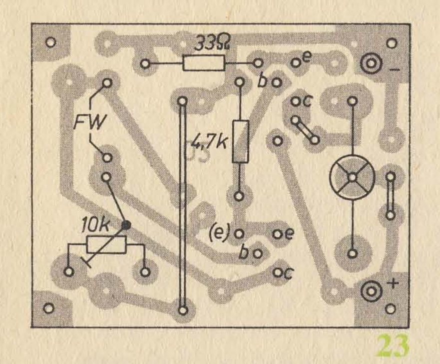


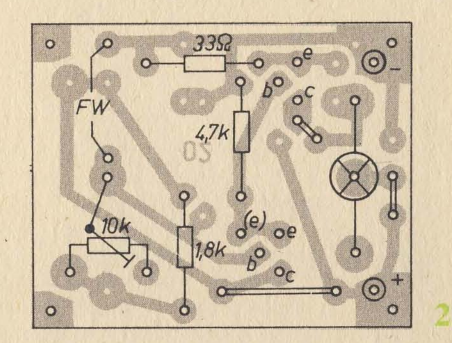












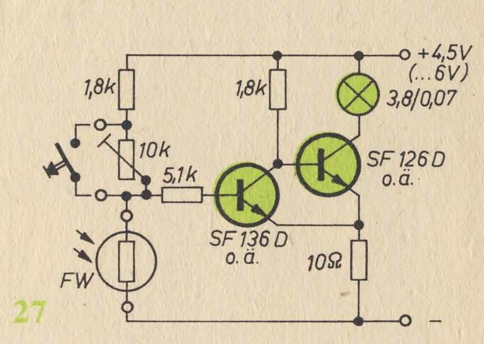


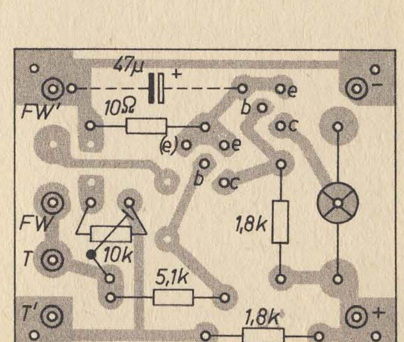
Bild 22
Einfache Lichtschranke (»hell bei hell«)

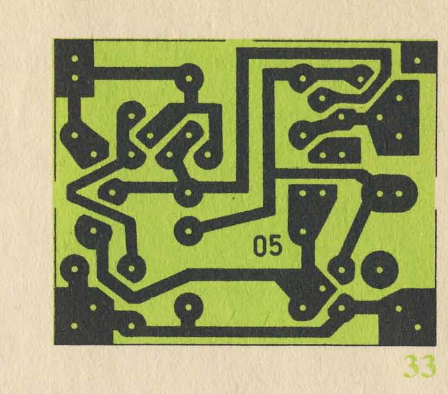
Bild 23
Bestückung von Platte 02 für Bild 22

Bild 24
Lichtschranke »hell bei dunkel«

Bild 25
Bestückung von Platte 02 für Bild 24

Bild 26
Bestückung von Platte 02 für Feuchtemelder





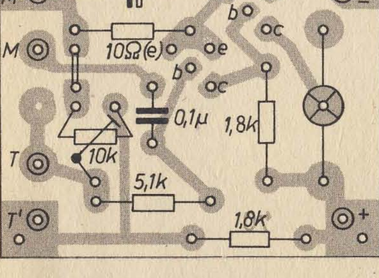


Bild 30
Schallmelder mit Speicherverhalten

Bild 31
Bestückung von Platte 04 für Bild 30

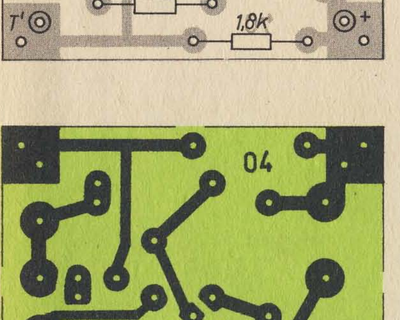


Bild 27
Lichtmelder mit Speicherverhalten

Bild 28
Leiterplatte 04

Bild 29
Bestückung von Platte 04 für Bild 27

Bild 32
Astabiler Multivibrator als Blinker (C 1: unterer, C 2: oberer Kondensator; R 1: linker, R 2: rechter 10 kΩ; T 1: links, T 2: rechts)

Bild 33
Leiterplatte 05

Bild 34
Bestückung von Platte 05 für Bild 32

Bild 35
Lichtgesteuerter Tongenerator

Bild 36
Bestückung von Platte 05 für Bild 35

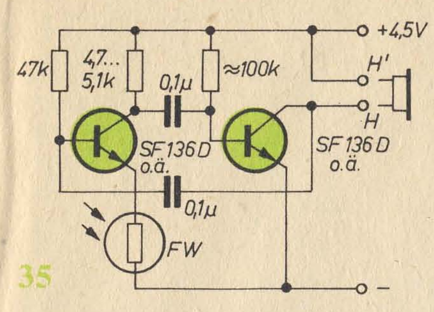
Bild 37
Monostabiler Multivibrator (C hier 470 μF; T 1 links, T 2: rechts)

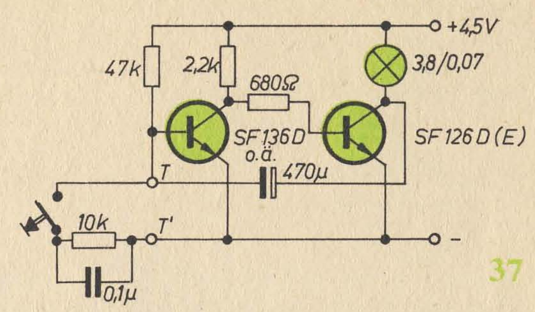
Bild 38
Bestückung der Platte 05 für Bild 37

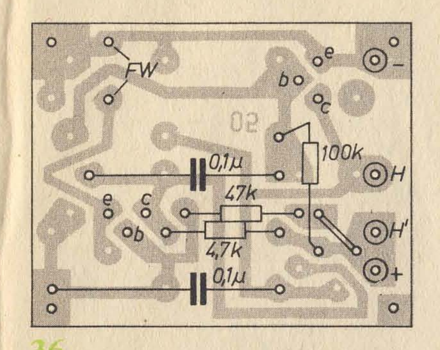
Bild 39
Bistabiler Multivibrator (Bezeichnungen T 1 und T 2 gelten sowohl für die Tastenanschlüsse wie für die Transistoren)

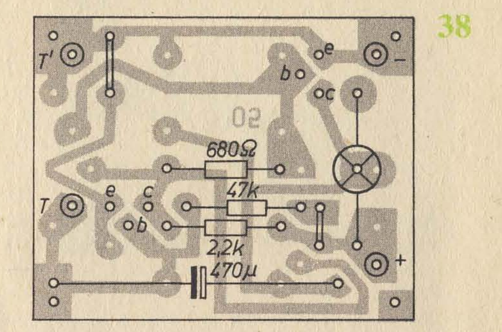
Bild 40
Bestückung der Platte 05 für Bild 39

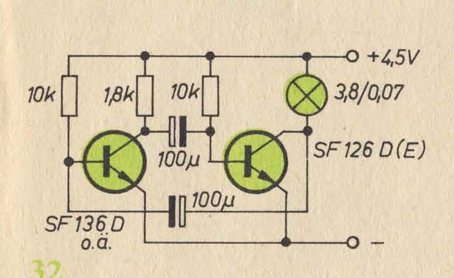
Bild 41
Ansteuerung des bistabilen Multivibrators über einen einzigen Schalter. Dioden-Schwellspannung muß kleiner als Basis-Emitter-Spannung sein; über 6,8 kΩ und 1,8 kΩ in Bild 39 je 0,1 μF legen; Vorwiderstand 47 Ω vor Lampe nötig, 6 V Betriebsspannung

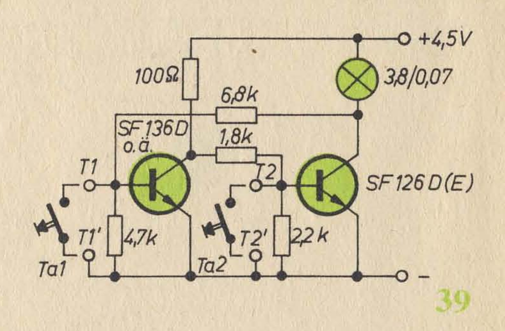

+4,5V
47k
4,7...
5,1k
0,1µ
≈100k
H'
H
SF 136 D
o.ä.
SF 136 D
o.ä.
0,1µ
FW
–
35

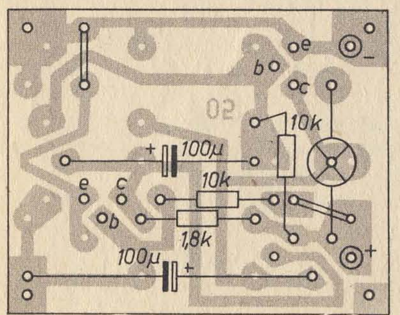

+4,5V
47k
2,2k
680Ω
3,8/0,07
SF 136 D
o.ä.
SF 126 D (E)
T
470µ
10k
T'
–
0,1µ
37

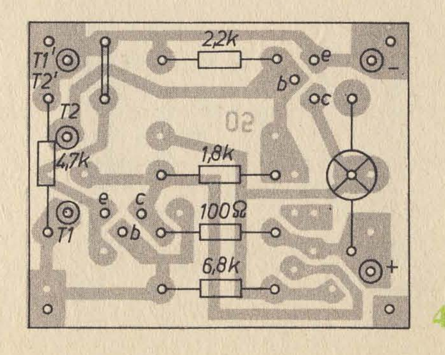

FW
e
b
c
–
02
0,1µ
100k
H
e c
47k
b
4,7k
H'
0,1µ
+
36

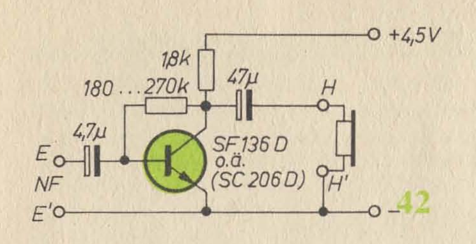

38
T'
e
b
c
–
02
680Ω
T
e c
47k
b
2,2k
470µ
+

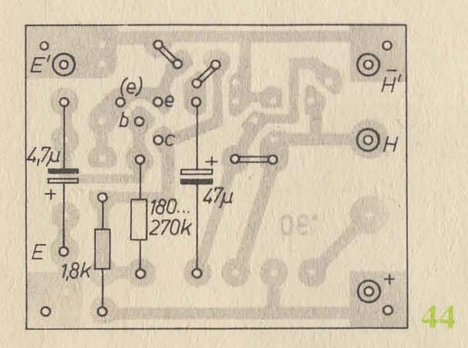

+4,5V
10k
1,8k
10k
3,8/0,07
100µ
SF 126 D (E)
100µ
SF 136 D
o.ä.
–
32

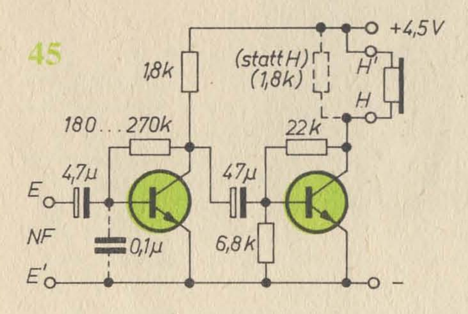

+4,5V
100Ω
3,8/0,07
6,8k
SF 136 D
o.ä.
1,8k
T1
T2
SF 126 D (E)
T1'
4,7k
T2'
2,2 k
Ta1
Ta2
–
39


e
b
c
–
02
10k
100µ
e c
10k
b
1,8k
100µ
+
34


2,2k
T1'
T2'
e
b
c
–
T2
02
4,7k
1,8k
e c
100Ω
T1
b
6,8k
+
40







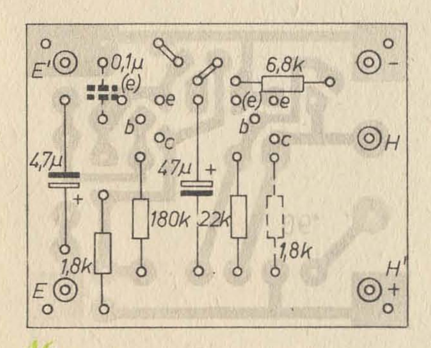


Bild 46
Bestückung der Platte 06
für Bild 45 (Achtung – unterer
0,1 µF-Anschluß muß nach links
zum 4,7 µF!)

Bild 42
Einstufiger NF-Verstärker
(R_B = 180 ... 270 kΩ,
R_C = 1,8 kΩ, U_B = 4,5 V,
B: Stromverstärkung – siehe Text)

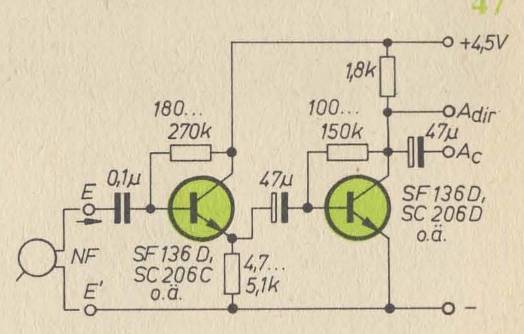
Bild 43
Leiterplatte 06

Bild 44
Bestückung der Platte 06
für Bild 42

Bild 45
Zweistufiger NF-Verstärker,
zwei Emitterstufen (Text-
hinweis bezüglich HF beachten!)

Bild 47
Zweistufiger NF-Verstärker,
erste Stufe in Kollektorschaltung
mit hohem Eingangswiderstand

Bild 48
Bestückung der Platte 06
für Bild 47



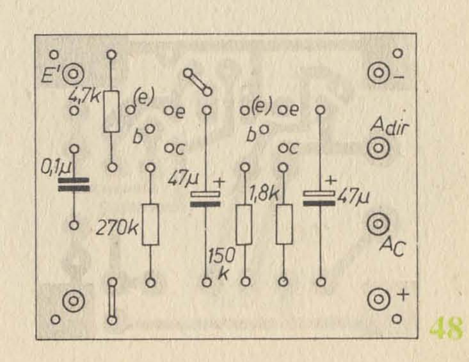
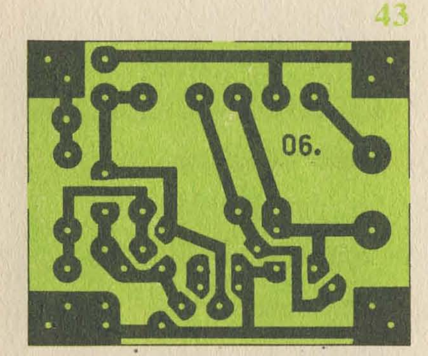
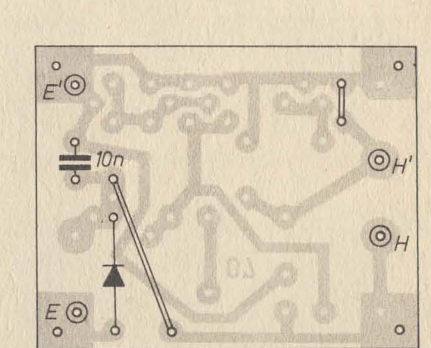


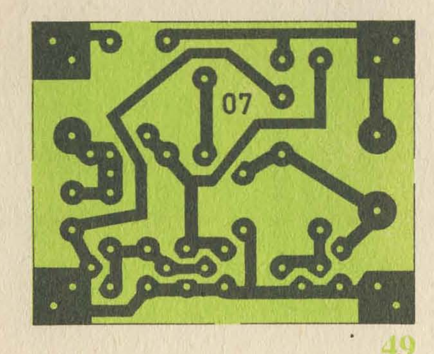
Bild 49
Leiterplatte 07 für einfache
Empfänger

Bild 50
Einfachster Mittelwellen-
empfänger

Antenne
GA 100 o.ä.
E
max
270p
10n
H
H'
E'
"Erde"
50







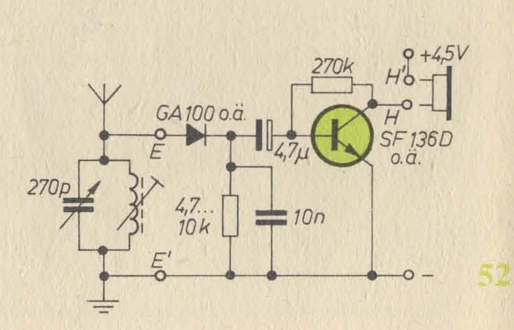
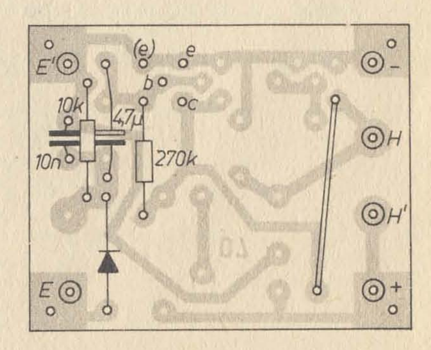
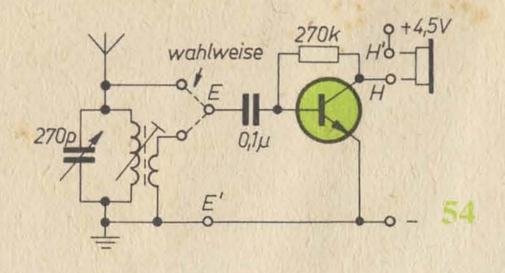


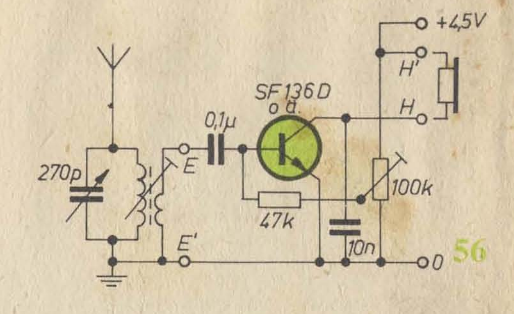
Bild 51
Bestückung der Platte 07
für Bild 50

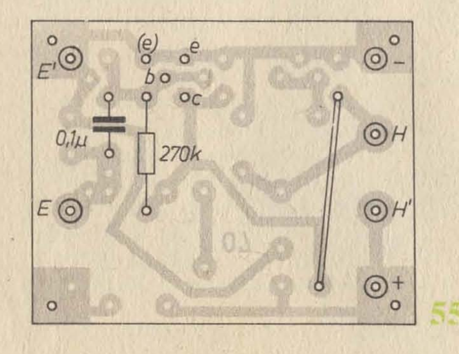
Bild 52
Diodenempfänger mit
NF-Verstärker

Bild 53
Bestückung der Platte 07
für Bild 52









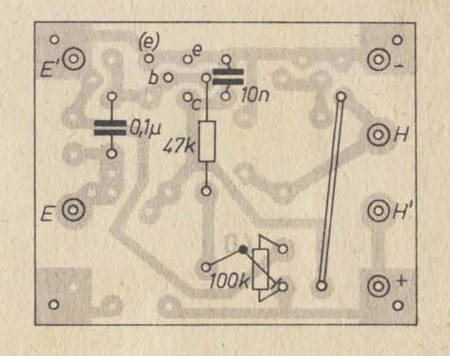


Bild 54
Empfänger mit Transistor als Gleichrichter (»Audion«)

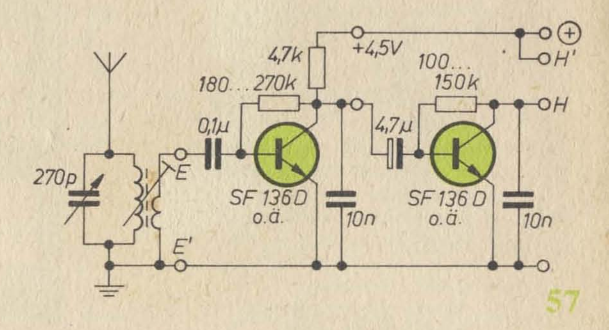
Bild 55
Bestückung der Platte 07 für Bild 54

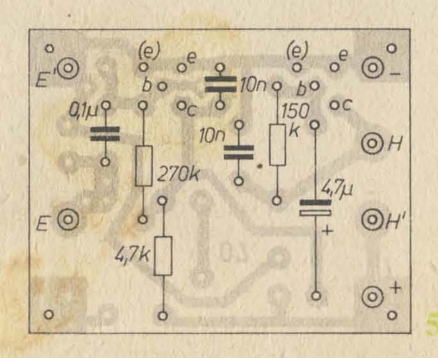
Bild 56
Audion mit einstellbarem Arbeitspunkt

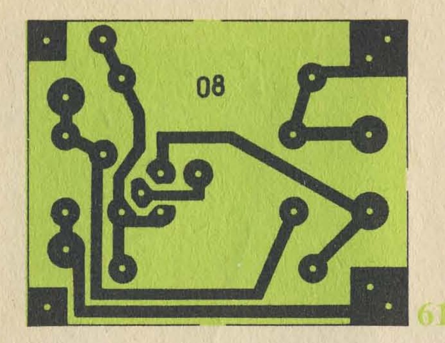
Bild 57
Audion mit NF-Verstärker (Betriebsspannung 4,5 V wird rechts oben – Plus im Kreis – angeschlossen; Mitte oben »4,5 V« bitte streichen)

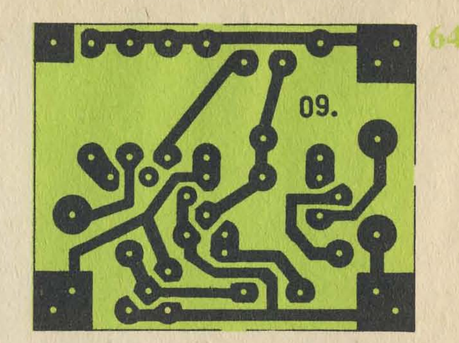
Bild 58
Bestückung der Platte 07 für Bild 56

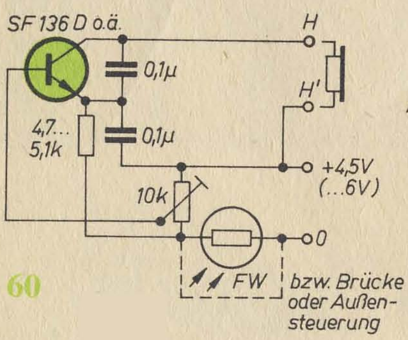
Bild 59
Bestückung der Platte 07 für Bild 57

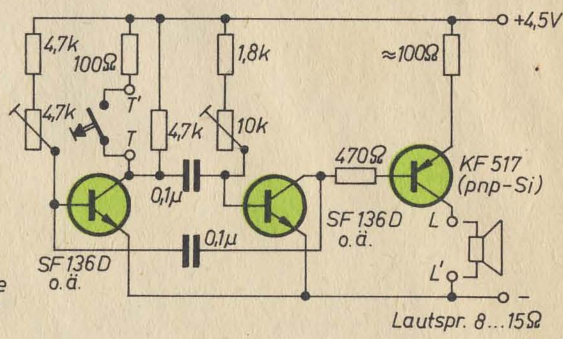


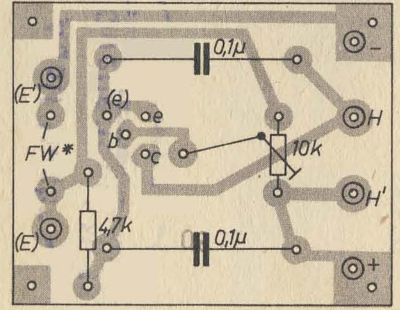












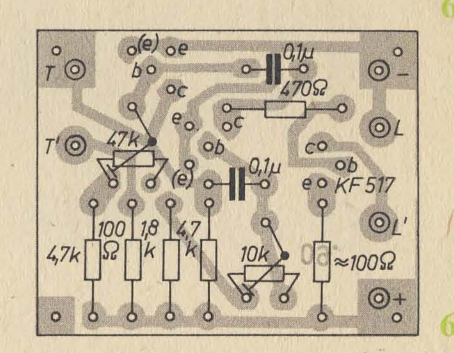


Bild 60
LC-Tongenerator (Ausnutzen der Hörerinduktivität), wahlweise lichtgesteuert (O ist Minuspol der Batterie)

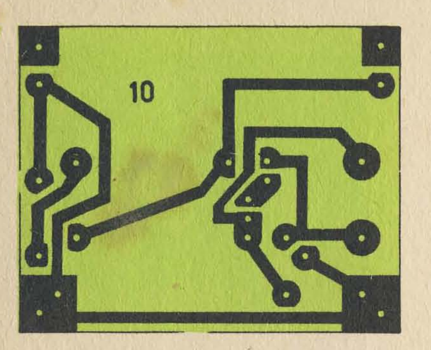
Bild 61
Leiterplatte 08

Bild 62
Bestückung der Platte 08 für Bild 60

Bild 63
Zweiklanghupe, handgeschaltet

Bild 64
Leiterplatte 09

Bild 65
Bestückung der Platte 09 für Bild 63



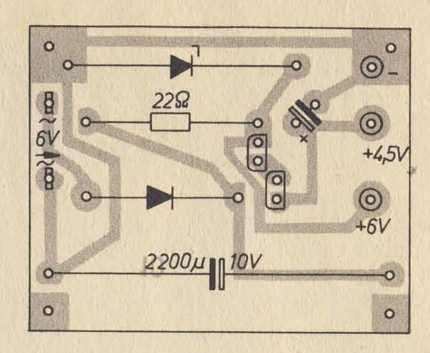
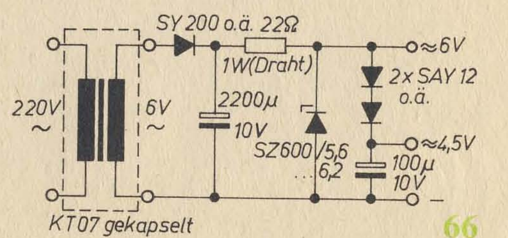


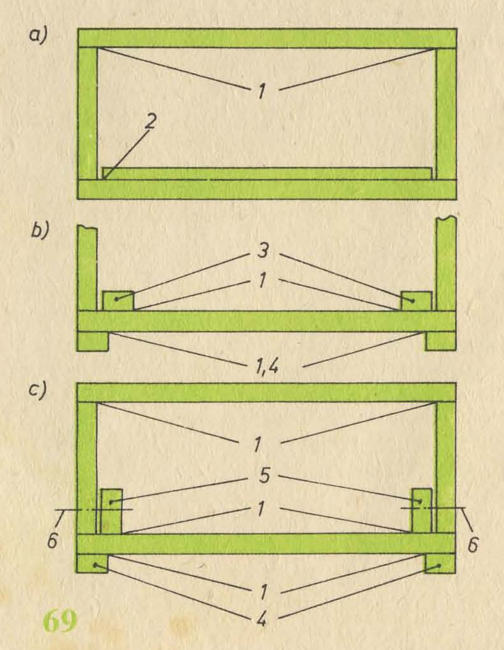
Bild 66
Einfaches, stabilisiertes Netzteil für die Versuche und für Dauereinsatz, an 4,5-V-Ausgang Vorlast etwa 680 Ω bis 1 kΩ anschließen (vgl. Text!)

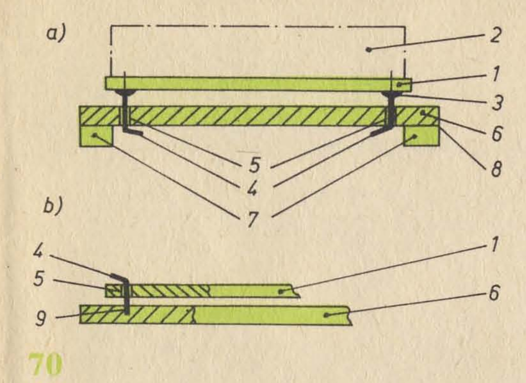
Bild 67
Leiterplatte 10

Bild 68
Bestückung der Platte 10 für Bild 66

Bild 69
Einzelheiten zum Gehäusebau aus Plastwandfliesen: a – Gehäuse mit einrastendem (Montage-) Boden aus zwei aufeinandergeklebten Platten (2); 1: geklebt; b – sparsamere Rastung: 3 Haltestreifen, 4 Fußleisten; c – Verschraub- oder Verstiftmöglichkeit (6); 5: hochkant geklebte Haltestreifen







70

Bild 70
Leiterplattenbefestigung in Plastgehäusen bzw. auf Plastversuchsplatten: a – Drähte (4) in Leiterplatte (1, mit Bauelementen 2) gelötet (3), durch Bohrungen (5) in Plastplatten (6) gesteckt und abgebogen; Fußleisten (7) geklebt (8); b – Drähte (4) mit Lötkolben thermisch (9) in Plastplatte (6) eingedrückt, durch Bohrung (5) in Leiterplatte (1) ragend und umgebogen

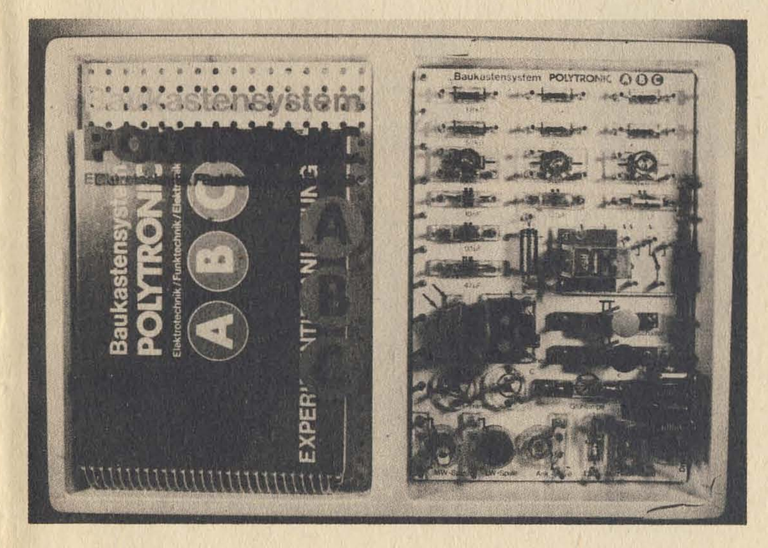


Bild 71
Baukasten »Polytronic-ABC«

1. Auflage, 1.–25. Tausend · © Militärverlag der Deutschen Demokratischen Republik (VEB) – Berlin, 1979 · Cheflektorat Militärliteratur · Lizenz-Nr. 5 · LSV: 3539 · Lektor: Rainer Erlekampf · Zeichnungen: Manfred Schulz Typografie: Helmut Herrmann · Hersteller: Hannelore Lorenz · Vorauskorrektor: Ingeborg Kern · Korrektor: Ilse Fähndrich · Printed in the German Democratic Republic · Gesamtherstellung: Grafischer Großbetrieb Sachsendruck Plauen · Redaktionsschluß: 20. Januar 1979 · Bestellnummer: 746 076 8